UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENÍERIA MECÁNICA

"DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE CORROSIÓN DE LAS LÍNEAS DE VAPOR EN EL ÁREA DE VULCANIZACIÓN DE LA EMPRESA CONTINENTAL TIRE ANDINA S.A. MEDIANTE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES"

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Autores:

Jimenez Cueva Charlie Patricio

Ochoa Cabrera Dany Marcelo

Director:

Ing. Jorge Fajardo

Cuenca, Diciembre 2014

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENÍERIA MECÁNICA

"DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE CORROSIÓN DE LAS LÍNEAS DE VAPOR EN EL ÁREA DE VULCANIZACIÓN DE LA EMPRESA CONTINENTAL TIRE ANDINA S.A. MEDIANTE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES"

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Autores:

Jimenez Cueva Charlie Patricio

charlie.jimenez@conti.com.ec

Ochoa Cabrera Dany Marcelo

dany.ochoa@conti.com.ec

Director:

Ing. Jorge Fajardo

jfajardo@ups.edu.ec

Cuenca, Diciembre 2014

Dedico esta tesis a mi familia, que me han brindado todo lo necesario para llegar hasta donde estoy, siendo el soporte necesario para mi desarrollo. En especial a mi esposa Maria Jose y mi hijo Charlie que todos los días me llenan de energía para enfrentar todos los retos que se me presenten.

Charlie

Dedico este proyecto de tesis a mis padres y hermanos quienes han sido parte fundamental en mi carrera estudiantil y profesional, siendo ellos los pilares fundamentales y apoyo incondicional dentro de mi educación. Depositando en mí, su absoluta confianza en cada reto que la vida me ha presentado. Este proyecto con amor y entrega; para ustedes querida familia.

Dany

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios ser maravilloso que me dio la vida y la fuerza para siempre terminar lo que me parecía imposible. A mis padres Segundo y Francisca quienes me apoyaron en mi vida universitaria. A mis amigos que me ayudaron con mi hijo mientras asistía a clases o realizaba investigaciones, a mi esposa e hijo quienes me impulsaron a terminar este proyecto. Al Ing. Jorge Fajardo quien nos dio las pautas necesarias y apoyo constante durante la realización de la tesis. A todo el equipo de Ingeniería de Continental Tire Andina S.A. que nos facilitó la investigación y por último a mi gran amigo y compañero Dany con quien cumplimos una meta más de nuestras vidas.

Charlie

AGRADECIMIENTOS

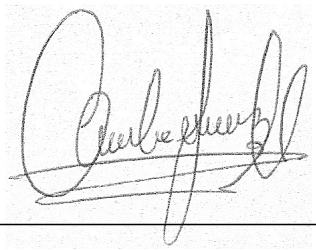
Primero agradecer a Dios por darme la vida y por haberme guiado por un camino de lleno de paz, felicidad, dicha y lo más importante, una salud estable y equilibrada; a mis padres Galo y Gladys por su apoyo incondicional en todo momento, por la fuerza y ganas que pusieron en mi día a día para poder llegar a culminar este proyecto. Al Ing. Jorge Fajardo, por su esfuerzo y desempeño en el apoyo total de la vida estudiantil y hoy como nuestro director de tesis. A la fábrica Continental Tire Andina S.A. y a todos y cada uno de sus áreas quienes nos brindaron el debido soporte en este proyecto. También quiero agradecer a ese querido grupo de amigos, por brindarme su confianza y apoyo en momentos difíciles de universidad, especialmente y un agradecimiento especial a Charlie con quien desarrollamos este tema de tesis logrando así culminar una meta más de nuestras vidas.

Dany

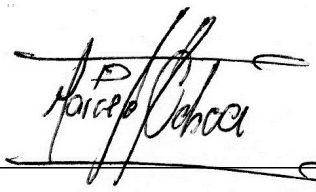
DECLARATORIA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana. En tal virtud los fundamentos técnicos - científicos y los resultados son exclusiva responsabilidad de los autores.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.



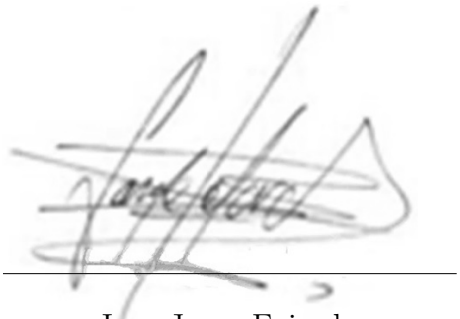
Jimenez Cueva Charlie Patricio



Ochoa Cabrera Dany Marcelo

CERTIFICADO

Que el presente proyecto de tesis *"Determinación del Nivel de Corrosión de las Líneas de Vapor en el Área de Vulcanización de la Empresa Continental Tire Andina S.A. Mediante Procesamiento Digital de Imágenes"*, realizado por los estudiantes: *Jimenez Cueva Charlie Patricio* y *Ochoa Cabrera Dany Marcelo*, fue dirigido por mi persona.



Ing. Jorge Fajardo

RESUMEN

La presente tesis permite medir el nivel de corrosión mediante el procesamiento digital de imágenes en tuberías con flujo de vapor, basándonos en un método experimental planteando una clasificación de cuatro niveles de corrosión. Se arrancó aislando secciones de tubería de las zanjas de Vulcanización de la Empresa Continental Tire Andina S.A. para luego ser cortadas y secadas en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana. Posteriormente se obtuvieron imágenes sin ningún tipo de técnica de pre-procesamiento de imágenes, sólo con un buen contraste y resolución utilizando microscopía óptica. Este proceso permitió que todas las imágenes obtenidas tengan las mismas características y puedan ser clasificadas correctamente en sus respectivos niveles. La programación del clasificador se la hizo desde el software Labview utilizando el modelo de color HSI el cual se encarga de analizar todos los atributos de color, y también la matriz de co-ocurrencia GLCM la cual analizará todos los atributos de textura de cada imagen, así como de la verificación del mismo utilizando una matriz de confusión, los cual nos arrojó resultados muy confiables de la clasificación de las imágenes.

Este trabajo es un aporte muy importante en el estudio de la corrosión en la industria, lo cual va a permitir desarrollar técnicas de Mantenimiento Preventivo. Además nos entregará datos precisos de los niveles de corrosión de cada sector de una red de tuberías lo cual ayudará a recalcular o direccionar mejor las distribución.

Palabras Clave: Corrosión, Procesamiento digital de imágenes, microscopía óptica, Labview, modelo HSI, mariz de co-ocurrencia GLCM, clasificadores digitales.

ABSTRACT

This thesis can measure the rate of corrosion by digital image processing pipeline with steam flow, based on an experimental method to pose a rating of four levels of corrosion. It started isolating sections of pipe trenches Vulcanizing Company Continental Tire Andina S.A ,then be cut and dried in the laboratory of the Salesian Polytechnic University. Later images were obtained without any pre-processing technique of images, only with good contrast and resolution using optical microscopy. This process allowed all the images obtained with the same characteristics and can be classified correctly in their respective levels. Programming the classifier is made from Labview software using the HSI color model which is responsible for analyzing all the attributes of color, and also co-occurrence matrix GLCM which analyze all the attributes of each image texture as well as verification of it using a confusion matrix, which showed us the very reliable classification results of the images.

This work is an important contribution to the study of corrosion in the industry, which will allow developing techniques Preventive Maintenance. In addition we deliver accurate data of corrosion levels of each sector of a network of pipes which help recalculate or better direct the distribution.

Keywords: Corrosion, digital image processing, optical microscopy, Labview, HSI model, co-occurrence matrix GLCM, digital classifiers.

ÍNDICE

Pág.

Lista de Figuras ..... **xi**

Lista de Tablas ..... **xvi**

1 Introducción a la Corrosión Interna **1**

1.1 Definición de Corrosión Interna en Tuberías 2

1.1.1 Definición de Corrosión 2

1.1.2 Fundamentos Químicos de la Corrosión 2

1.2 Mecanismos de Corrosión en Tuberías 5

1.2.1 Clasificación de los Mecanismos de Corrosión Interna 6

1.3 Evaluación de Defectos en Tuberías 11

1.3.1 Defectos en el proceso de obtención y armado de las redes de vapor. . 11

1.3.2 Mecánica de la Fractura de las tuberías. 11

1.4 Evaluación de las Variables que Intervienen en la Corrosión 13

1.5 Normas para Análisis y Detección de Corrosión en Tuberías de Vapor 13

1.6 Técnicas Desarrolladas para Determinar el Nivel de Corrosión Mediante el Procesamiento Digital de Imágenes 20

1.6.1 Microscopia Óptica y Electrónica de Barrido (MEB) 20

1.6.2 Microanálisis de rayos X (SEM) 23

1.6.3 Control de Corrosión por Circuito Cerrado de TV y Procesamiento Digital de Imágenes 26

1.6.4 Evaluación de rasgos de color y textura para detectar la Corrosión ... 28

1.6.5 Método Desarrollado para la determinación del nivel de corrosión en las tuberías de vapor 31

1.7 Conclusiones Parciales 34

2 Análisis del Medio Corrosivo 35

2.1 Obtención de Tubería y Probetas 48

2.1.1 Adquisición de la tubería para las diferentes probetas 48

2.2 Captura de Imágenes 54

2.2.1 Microscopio Óptico 55

2.2.2 Captura de imagen 55

2.3 Conclusiones Parciales 69

3 Fundamentos de un Sistema de Procesamiento Digital de Imágenes 70

3.1 Pasos fundamentales en el procesamiento digital de imágenes 70

3.2 Fundamentos del Color 70

3.2.1 Propiedades o Caracterización del Color 72

3.2.2 Modelos de Color 73

3.2.3 Formatos de ficheros de imágenes 76

3.3 Transformación de Imágenes 77

3.3.1 Transformada de Fourier 79

3.4 Morfología Matemática de Imágenes 79

3.4.1 Operadores básicos morfológicos 82

3.5 Metodología Experimental Para el Desarrollo del Programa 85

3.6 Programa de Determinación del Nivel de Corrosión Mediante el Procesamiento Digital de Imágenes 91

3.7 Conclusiones Parciales 99

4 Realización de Pruebas de Funcionamiento del Sistema de Detección del Nivel de Corrosión 100

4.1 Análisis del programa con probetas nuevas 100
4.2 Sistematización de resultados 102
4.2.1 Análisis y resultados de corrosión y picadura en el nivel 0 102
4.2.2 Análisis y resultados de corrosión y picadura en el nivel 1 103
4.2.3 Análisis y resultados de corrosión y picadura en el nivel 2 104
4.2.4 Análisis y resultados de corrosión y picadura en el nivel 3 104
4.3 Retroalimentación del Sistema 107
4.4 Proyección de futuros trabajos sobre la investigación 108
4.5 Caso de Estudio 111
4.6 Conclusiones 113
4.7 Recomendaciones 114

Referencias bibliográficas 115

Anexo A – Carta de Control de Solidos en Calderos 118

Anexo B – Distribución Zanjas de Vulcanización en Planta 120

Anexo C – Hojas de Ciclo de Cura 235AT2 Llanta PLT/295HSC1 Llanta CVT 122

Anexo D – Fotos de Perfil de las Tuberías en los Niveles de Corrosión 125

Anexo E – Códigos del Programa 128

Anexo F – Corpus de Imágenes 147

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura - 1.1 Pila electroquímica de corrosión. **Fuente:** Autores 3

Figura - 1.2 Clasificación de los mecanismos de Corrosión Interna. **Fuente:** Autores 6

Figura - 1.3 Graficas de falla de la tubería [1]. 13

Figura - 1.4 Normas para el Estudio de la Corrosión. **Fuente:** Autores. 15

Figura - 1.5 Microscopio electrónico de barrido [2]. 21

Figura - 1.6 Evaluación de la corrosión por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) [2]. 22

Figura - 1.7 Microfotografías tomadas por SEM, en probetas al interior de las tuberías de acero al carbono SAE 1018 con daño [3]. 23

Figura - 1.8 Microfotografías tomadas por SEM, en probetas al interior de las tuberías de acero al carbono SAE 1018 sin daño [3]. 23

Figura - 1.9 Procesamiento de la microfotografía de la muestra 3 tomada al interior de la tubería de acero al carbono SAE 1018 con daño en la superficie [3]. 25

Figura - 1.10 Procesamiento de la microfotografía de la muestra tomada desde el interior de la tubería de acero al car-bono SAE 1018 en buen estado (invertida) [3]. 25

Figura - 1.11 Corrosión interna por picadura. **Fuente:** Autores 26

Figura - 1.12 Superficie de una plancha de metal con picaduras artificiales [4]. 27

Figura - 1.13 Imágenes adquiridas con el sistema de CCTV y linea laser [4]. 27

Figura - 1.14 Imagen en blanco y negro ya suavizada [4]. 28

Figura - 1.15 Imagen final obtenida de la combinación de las 8 imágenes de análisis inicial [4]. 28

Figura - 1.16 Base de datos de imágenes de superficies corroídas [5]. 29

Figura - 1.17 Obtención de los Atributos descriptores de la Imagen. **Fuente:** Autores 30

Figura - 1.18 Método final para detectar la corrosión [5]. 30
Figura - 1.19 Microscopio Digital Olympus. **Fuente:** Autores 32
Figura - 2.1 Caldero de vapor [6]. 37
Figura - 2.2 Toma de agua del río Machangara. **Fuente:** Autores 38
Figura - 2.3 Planta de Osmosis. **Fuente:** Autores 39
Figura - 2.4 Tanque – reservorio.**Fuente:** Autores 40
Figura - 2.5 Desaireador.**Fuente:** Autores 41
Figura - 2.6 Eliminox (Eliminador de Oxigeno). **Fuente:** Autores 42
Figura - 2.7 NEXGUARD 22300. **Fuente:** Autores 44
Figura - 2.8 NEXGUARD 22300. **Fuente:** Autores 45
Figura - 2.9 a) Datos de Caldera 1 b) Datos de Caldera 2. **Fuente:** Autores 45
Figura - 2.10 Temperatura del vapor de proceso. **Fuente:** Autores 46
Figura - 2.11 Esquema del proceso de tratamiento de Agua. **Fuente:** Autores 46
Figura - 2.12 Ciclo de cura para llantas CVT. **Fuente:** Autores 47
Figura - 2.13 Ciclo de cura para llantas PLT. **Fuente:** Autores 47
Figura - 2.14 Zanjas de Vulcanización. **Fuente:** Autores 48
Figura - 2.15 Obtención y corte de tubería. **Fuente:** Autores 49
Figura - 2.16 Corte de Probetas-Maquina MEGA-M250. **Fuente:** Autores 50
Figura - 2.17 Secado de las probetas. **Fuente:** Autores 51
Figura - 2.18 Eliminación de Aristas vivas. **Fuente:** Autores 51
Figura - 2.19 Clasificación de los Niveles de Corrosión en las probetas. **Fuente:** Autores 52
Figura - 2.20 Flujograma del proceso para obtención de probetas. **Fuente:** Autores 53
Figura - 2.21 Microscopio óptico BX51M provisto por Olympus. **Fuente:** Autores 54
Figura - 2.22 Cámara OLYMPUS DP72. **Fuente:** Autores 56
Figura - 2.23 Interruptor principal de encendido. **Fuente:** Autores 56
Figura - 2.24 Selección de campo. 57
Figura - 2.25 Selección de filtro utilizado. **Fuente:** Autores 57
Figura - 2.26 Selección de trinocular. **Fuente:** Autores 58

Figura - 2.27 Campo de diafragma. **Fuente:** Autores 58
Figura - 2.28 Selección del lente. **Fuente:** Autores 59
Figura - 2.29 Calibración de placa de platina. **Fuente:** Autores 59
Figura - 2.30 Selección de intensidad de luz. **Fuente:** Autores 60
Figura - 2.31 Inicio de Observación. **Fuente:** Autores 61
Figura - 2.32 Pasos para activar la ventana Camera Control. **Fuente:** Autores 61
Figura - 2.33 Modo de imagen en live. **Fuente:** Autores 62
Figura - 2.34 Configuración de software para la captura de Imágenes. **Fuente:** Autores 63
Figura - 2.35 Bloque de Blanco Patrón. **Fuente:** Autores 63
Figura - 2.36 Valores para la toma de imagen en control de cámara. **Fuente:** Autores 64
Figura - 2.37 Process Manager. **Fuente:** Autores 65
Figura - 2.38 Configuración para captura de imagen con EFI. **Fuente:** Autores ... 65
Figura - 2.39 Modo en vivo para control visual. **Fuente:** Autores 66
Figura - 2.40 Adquisición de imagen EFI, en pantalla triple con microscopio OLYMPUS BX51M, 5X, software Strem Essentials® Versión 1.6. **Fuente:** Autores 66
Figura - 2.41 Desplazamiento micrométrico. **Fuente:** Autores 67
Figura - 2.42 Imagen adquirida con la utilización de la herramienta EFI. **Fuente:** Autores 67
Figura - 3.1 Espectro de color al pasar la luz blanca a través de un prisma [7]. ... 71
Figura - 3.2 Representación de los pixeles en una imagen [8]. 76
Figura - 3.3 Representación de una imagen vectorial [9]. 77
Figura - 3.4 Formas de elementos estructurante EE. **Fuente:** Autores 82
Figura - 3.5 Análisis de un EE sobre una imagen. **Fuente:** Autores 82
Figura - 3.6 Dilatación de una imagen [10]. 83
Figura - 3.7 Erosión de una imagen [10]. 83
Figura - 3.8 Apertura de una imagen [10]. 84
Figura - 3.9 Cierre de una imagen [10]. 84
Figura - 3.10 Clasificación de los niveles de corrosión. **Fuente:** Autores 89

Figura - 3.11 Diagrama de flujo para el análisis de Imágenes. **Fuente:** Autores ... 89
Figura - 3.12 Diagrama de flujo para Determinar el nivel de Corrosión. **Fuente:** Autores ... 90
Figura - 3.13 Matriz de confusión para evaluar el Clasificador. **Fuente:** Autores .. 91
Figura - 3.14 Panel frontal (Pantalla). **Fuente:** Autores ... 91
Figura - 3.15 Bloque de selección de parámetros para el análisis de una imagen. **Fuente:** Autores ... 92
Figura - 3.16 Entrenamiento del Programa. **Fuente:** Autores ... 93
Figura - 3.17 Aviso del Entrenamiento del Programa. **Fuente:** Autores ... 93
Figura - 3.18 Inicio de pruebas en el Programa. **Fuente:** Autores ... 94
Figura - 3.19 Bloque de visualización del resultado. **Fuente:** Autores ... 94
Figura - 3.20 Prueba con imagen de tubería corroída. **Fuente:** Autores ... 95
Figura - 3.21 Prueba con imagen no correspondiente a tubería. **Fuente:** Autores . 95
Figura - 3.22 Prueba con imagen de tubería corroída. **Fuente:** Autores ... 96
Figura - 3.23 Matriz de confusión. **Fuente:** Autores ... 97
Figura - 3.24 Evaluación de Imágenes en la Matriz de confusión. **Fuente:** Autores 97
Figura - 3.25 Mensaje de Evaluación terminada de la Matriz de confusión. **Fuente:** Autores ... 98
Figura - 3.26 Resultado de la Evaluación en la Matriz de confusión. **Fuente:** Autores 98
Figura - 4.1 Análisis con Imagen Nueva. **Fuente:** Autores ... 101
Figura - 4.2 Resultado del análisis con Imagen Nueva. **Fuente:** Autores ... 102
Figura - 4.3 Resultado del análisis con Imagen Nueva-NIVEL 0 **Fuente:** Autores 103
Figura - 4.4 Resultado del análisis con Imagen Nueva-NIVEL 1. **Fuente:** Autores 104
Figura - 4.5 Resultado del análisis con Imagen Nueva-NIVEL 2. **Fuente:** Autores 105
Figura - 4.6 Resultado del análisis con Imagen Nueva-NIVEL 3. **Fuente:** Autores 105
Figura - 4.7 Vista en 3D de la deposición de material sobre la superficie de la tubería. **Fuente:** Autores ... 106
Figura - 4.8 Reentrenamiento del Programa. **Fuente:** Autores ... 107
Figura - 4.9 Ejemplo de Resultado con Análisis Químico. **Fuente:** Autores ... 108

Figura - 4.10 Imagen General de un Boroscopio. **Fuente:** Autores 109
Figura - 4.11 Consumo de Vapor PLT. **Fuente:** POR Continental Tire Andina S.A 110
Figura - 4.12 Consumo de Vapor CVT. **Fuente:** POR Continental Tire Andina S.A 110
Figura - 4.13 Zanjas de Vulcanización. **Fuente:** Autores 112

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.1 Serie galvánica de los metales (Agua de Mar) [11]. 4

Tabla 1.2 Clasificación de los Mecanismos de Corrosión Interna. **Fuente:** Autores 10

Tabla 1.3 Fallas mecánicas de la tubería. **Fuente:** Autores 12

Tabla 1.4 Variables que intervienen en la Corrosión. **Fuente:** Autores 14

Tabla 1.5 Clasificación de las Normas de Corrosión. **Fuente:** Autores 20

Tabla 1.6 Clasificación de las tuberías en Niveles de Corrosión. **Fuente:** Autores 33

Tabla 2.1 Imágenes de las tuberías en Niveles de Corrosión. **Fuente:** Autores ... 68

Tabla 3.1 Pasos para el procesamiento digital de imágenes. **Fuente: Autores** ... 71

Tabla 3.2 Propiedades del Color.**Fuente: Autores** 72

Tabla 3.3 Consideraciones de los modelos de color. **Fuente:** Autores 75

Tabla 3.4 Consideraciones de los modelos de color. **Fuente:** Autores 78

Tabla 3.5 Ecuaciones de la Transformada de Fourier [12], [13] y [14]. 81

Tabla 3.6 Distribución de Muestras e Imágenes Capturadas. **Fuente:** Autores ... 85

Tabla 4.1 Estado de la Corrosión en la Zanjas de Vulcanización. **Fuente:** Autores 113

1 INTRODUCCIÓN A LA CORROSIÓN INTERNA

En los últimos años uno de los principales impactos causados por los fenómenos de corrosión es el factor económico. La corrosión causa la continua degradación de las infraestructuras metálicas, representando alrededor de un *4% del Producto Interno Bruto (PIB) aproximadamente $276 billones de dólares en los países industrializados según Nace (National Association of Corrosion Engineers) que representaría en el caso de EEUU unos $970 dólares* de gasto por persona al año para mitigar la corrosión [15]. Estos costos directos abarcan tanto el mantenimiento correctivo, la protección a corto plazo y la reposición completa de los materiales expuestos a condiciones atmosféricas agresivas. La corrosión está ligada en la industria a problemas tanto de seguridad como económicos (costos indirectos):

a) Paradas de planta imprevistas para efectuar reparaciones.

b) Pérdidas de producto de contenedores, tanques, cañerías, etc.

c) Pérdidas de eficiencia por productos de corrosión en intercambiadores de calor, disminución de diámetro interno de tuberías.

d) Contaminación por los derrames producidos a causa de corrosión en tanques, cañerías, etc.

e) Sobredimensionamiento en el diseño de instalaciones debido a la falta de información sobre la corrosión de los componentes en un ambiente determinado.

Además de los costos directos antes mencionados, se considera que los costos indirectos en la mayoría de los casos superan a los directos. En cifras generales se han reportado costos indirectos asociados a fallas por corrosión en el orden de los *$552 billones de dólares que representa el 6% del PIB* [15].

Es por eso que es muy importante determinar el nivel de corrosión para diagnosticar la vida útil de las tuberías de vapor, así como para el establecimiento de las condiciones

de uso dependiendo del ambiente en donde estén las tuberías, ya que en un análisis publicado acerca de la costos de corrosión en tuberías de gas y líquidos tanto externa como internamente bordean los *7000 millones de dólares anuales* [16].

Existen varios métodos para identificar el nivel de corrosión que una tubería experimenta ya sea cualitativamente o cuantitativamente, varios de estos métodos están restringidos solamente para un uso concreto y son puntuales al tipo de metal o para un ambiente determinado de trabajo.

Por ello es muy difícil comparar los resultados obtenidos de diferentes análisis y su respectiva interpretación, por esto es que debemos tener un conocimiento general de los mecanismos de corrosión y las condiciones en las que puede ocurrir.

1.1 Definición de Corrosión Interna en Tuberías

1.1.1 Definición de Corrosión

Consideraremos algunas definiciones que han sido expuestas:

> "La corrosión se define como la reacción química o electroquímica entre un material y su entorno que provoca el deterioro del material y de sus propiedades"[17].

> "La corrosión es la destrucción de un cuerpo sólido causada por un ataque no provocado, de naturaleza química o electroquímica, que se inicia en la superficie del material. De manera más general, puede entenderse como la tendencia que tienen los materiales a buscar su forma más estable o de menor energía interna (Smith, 1998)"[18].

1.1.2 Fundamentos Químicos de la Corrosión

La naturaleza de la corrosión es electroquímica, es decir es necesario que exista una corriente eléctrica que circule entre dos zonas de la superficie del metal, conocidas como ánodos y cátodos, ambas debidamente separadas a una cierta distancia, esta distancia puede llegar a ser muy pequeña, esto a través de una sustancia llamada electrolito. Por lo general ocurre cuando se presenta diferencias en la química local de la superficie de la tubería tal como se presenta en la figura 1.1.

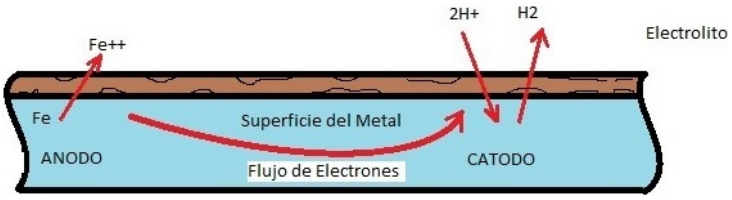


Figura 1.1: Pila electroquímica de corrosión. **Fuente:** Autores

Para entender la pila electroquímica de corrosión es necesario comprender el diferencial de potencial eléctrico o serie galvánica de los materiales, ya que esta es la responsable del flujo de corriente eléctrica debido a que los electrones liberados en el ánodo se consumen en el cátodo. Esta serie también nos ayuda a definir qué áreas actuaran como ánodos y que áreas como cátodos. En la tabla 1.1 revisaremos la serie galvánica de algunos materiales utilizando el agua de mar como electrolito.

En las reacciones químicas de corrosión del hierro los átomos metálicos se corroen para formar iones positivos (cationes), mientras que otras especies químicas (O_2, H_2O, o cationes existentes) se reducen [11].

A continuación revisaremos algunas reacciones de corrosión en soluciones neutras y ácidas.

1.1.2.1 Reacciones de Corrosión en Soluciones Ácidas

La reacción anódica general del hierro que se produce durante un proceso de corrosión es:

En este caso, el hierro metálico (Fe) se corroe (pierde electrones) al estado Fe^{++}, como un ión en la solución, produciendo así dos (2) electrones ($2e^-$). En el cátodo, se consumen los electrones producidos de la reacción anódica en reacciones de reducción.

La reacción catódica para corrosión en soluciones ácidas en presencia de oxígeno es:

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O \tag{1.1}$$

Y la reacción global se puede considerar como la suma de dos medias reacciones diferentes:

$$2Fe + 2H_2O + O_2 \rightarrow 2Fe(OH)_2 + H_2 \tag{1.2}$$

Estado del Potencial	Material
Extremo noble (Catódico o protegido)	Platino Oro Titanio
Potenciales Positivos	Acero inoxidable (pasivo) Plata Inconel Níquel (pasivo) Monel Aleaciones cobre-níquel (activo) Bronce al aluminio Cobre Latón rojo Latón al aluminio Latón amarillo Metal Muntz Acero inoxidable (activo) Hierro fundido Acero aleado Acero al bajo carbono Aleaciones de aluminio Cadmio
Extremo base (Anódico o corroído) Potencial Negativo	Aluminio Zinc Magnesio

Tabla 1.1: Serie galvánica de los metales (Agua de Mar) [11].

1.1.2.2 Reacciones de Corrosión en Soluciones Neutras

La reacción anódica del hierro seguirá siendo la misma:

$$Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^{-} \tag{1.3}$$

La reacción catódica para corrosión en soluciones neutras en presencia de oxígeno es:

$$O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-} \tag{1.4}$$

Y la reacción global es:

$$2Fe + 2H_2O + O_2 \rightarrow 2Fe(OH)_2 \tag{1.5}$$

Entonces las características de las reacciones anódicas y catódicas sean en soluciones ácidas o neutras pueden ser resumidas como que:

- Las reacciones anódicas en un proceso de corrosión, se corroen y pierden electrones.
- Las reacciones catódicas en un proceso de corrosión, se reducen y ganan electrones.

1.2 Mecanismos de Corrosión en Tuberías

La corrosión puede desarrollarse en dos ambientes diferentes:

- Corrosión seca.- Sucede cuando el metal está sometido a una temperatura elevada, en ausencia de agua produciendo perdidá de electrones, es un principio basado en la termodinámica ya que la energía del flujo de electrones se presenta en forma de calor; esta energía es muy baja como para poder ser medida.
- Corrosión Húmeda.- Ocurre con intervención de un medio acuoso es la común y se la conoce como corrosión electroquímica, esta se basa en que el resultado del flujo de electrones se presenta en forma de energía eléctrica que es posible de medir y que nos ayuda a determinar la orientación de la corrosión.

En una tubería podemos tener presentes algunos mecanismos de corrosión que se presentaran según sea la combinación existente entre el metal y el ambiente o condiciones

a las que estén expuestos, es por eso que la clasificación basada en la corrosión interna se presenta en la figura1.2 y las definiciones las mostraremos en la tabla 1.2.

1.2.1 Clasificación de los Mecanismos de Corrosión Interna

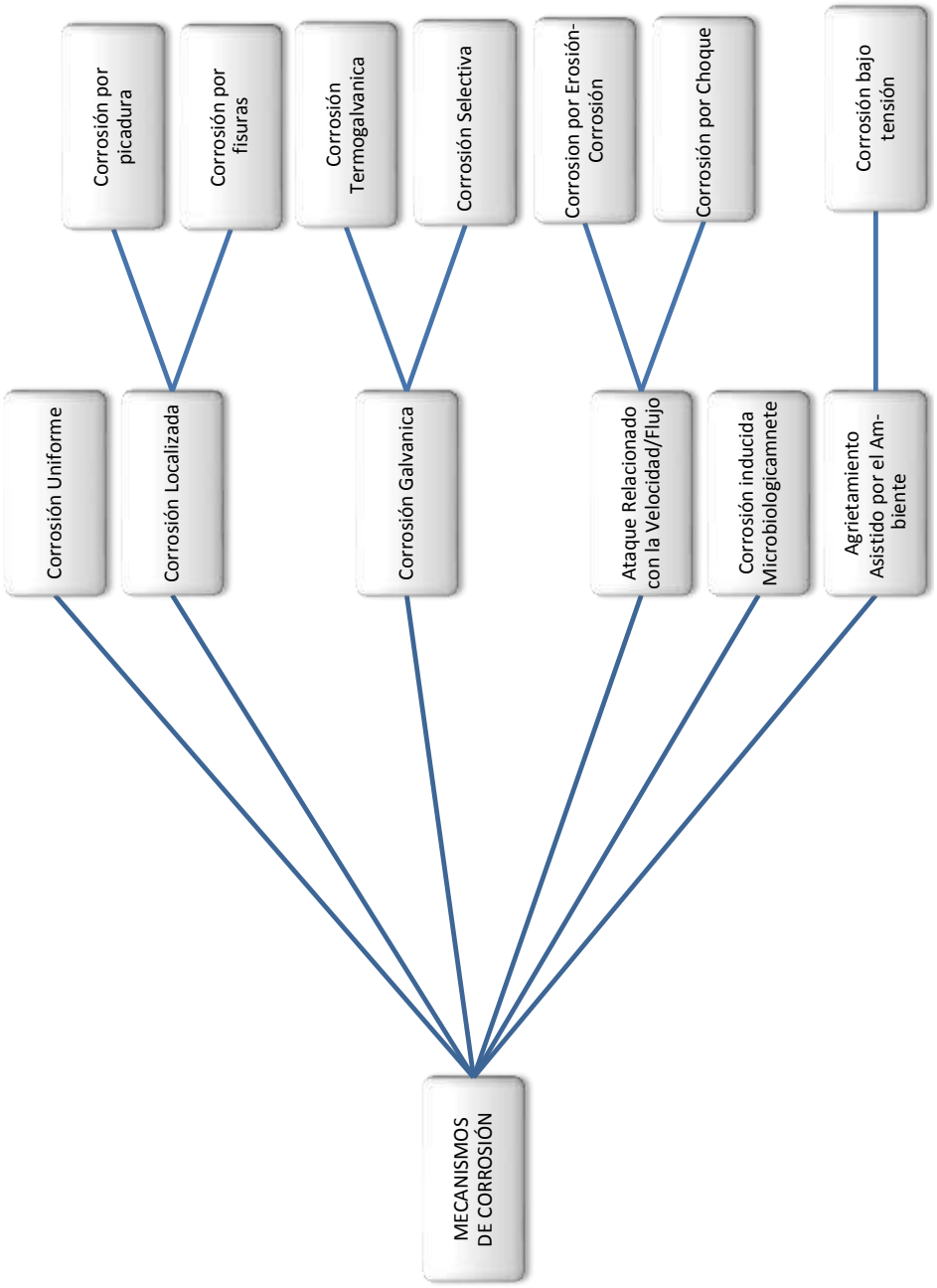
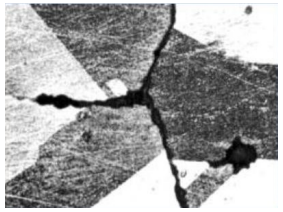


Figura 1.2: Clasificación de los mecanismos de Corrosión Interna. **Fuente:** Autores

Mecanismo	Descripción	Características	Morfología	Fuente de la imagen
Corrosión Uniforme	La superficie de la tubería es atacada uniformemente con la misma velocidad en todos los puntos.	• Es fácil de estimar la vida útil de la tubería y no es de temer una falla inesperada • La tubería es atacada solamente en su superficie interna y las partes externas conservan sus propiedades		www.construmat.com
Corrosión Localizada	La corrosión localizada frecuentemente se concentra en un área muy pequeña y toma la forma de cavidades llamadas picaduras. **Corrosión por picadura:** Ocurre en las imperfecciones de la superficie y ocasiona cavidades en el material. **Corrosión por fisura:** Ocurre en áreas que están protegidas del ambiente corrosivo como por ejemplo debajo de arandelas y bridas.	**Corrosión por picadura** • Penetración rápida que puede desencadenar la falla de una tubería en excelentes condiciones. • Cuando se interconectan o juntan pueden formar grandes hoyos de picadura. **Corrosión por fisura** • Conocida como corrosión subdepositada. •Puede ubicarse en lugares donde exista contacto metal a metal, o metal a no metal.		www.fisicanet.com.ar

Corrosión Galvánica	Se la conoce como corrosión bimetálica, ocurre cuando un metal se acopla a otro en un electrolito corrosivo, el que termina corroído será el metal con menor potencial galvánico y por ende el otro se protegerá de dicha corrosión. **Corrosión termo galvánica:** Se produce cuando un metal que está sometido a un ambiente corrosivo experimenta una diferencia de temperatura. **Corrosión selectiva:** Ocurre en aleaciones donde los elementos son de diferentes potenciales galvánicos.	• Corrosión entre metal-metal. • Ocurre también cuando se acoplan dos metales iguales pero de edades diferentes, ya que los elementos más antiguos pueden desarrollar películas de protección más catódicas. • La velocidad de la corrosión solo puede ser tan rápida si la reacción catódica se desarrolla rápidamente. • Es decir la tasa de corrosión es baja cuando existe una área pequeña de cátodo y una área grande de ánodo. **Corrosión termo galvánica** • La superficie caliente forma el ánodo y la fría el cátodo. **Corrosión selectiva** • El elemento con menor potencial galvánico es el que es retirado del material.	**Corrosión galvánica** **Corrosión termo galvánica** **Corrosión selectiva** 	www.depuradoras.es

Ataque relacionado con la Velocidad/Flujo	Esta corrosión ocurre cuando las velocidades del flujo son altas ocasionando perdidá de material en la superficie. **Erosión-corrosión:** Ocurre cuando se pierde la película protectora de la superficie de la tubería debido a que el fluido a alta velocidad arrastra sólidos o partículas. **Corrosión por choque:** Esta es una forma de corrosión- erosión más severa que generalmente produce un alargamiento y crea hoyos grandes en la superficie del material.	**Erosión-corrosión** • Puede darse si el fluido arrastra o no partículas. • Las tuberías en la que los fluidos son arrastrados en fase de gas y a alta velocidad son propensas a sufrir este ataque de corrosión. • Se las reconoce por que dejan un rastro direccional del flujo con apariencia de ondas o canales. **Corrosión por choque** • Similares características a las de erosión-corrosión. • Causan turbulencia y dejan rastros direccionales del flujo. • Ocurre en cambios de tramos (codos).	**Erosión-corrosión** 	www.copper.org www.sonitechndt.com
			Corrosión por choque 	

Corrosión Inducida Microbiológicamente	Es conocida como MIC y causa el deterioro del metal por presencia de procesos de microorganismos(bacterias, hongos, algas y protozoarios)	• Los microorganismos se ubican en picaduras, fisuras. • Los microorganismos rompen las películas de protección de la superficie y aceleran el ataque corrosivo.		www.mundonaval.com.ve
Agrietamiento Asistido por el Ambiente	Se incluyen una gran variedad de mecanismos de falla por grieta que se alteran o aumentan debido al efecto corrosivo del ambiente. Corrosión bajo tensión: Se produce por una quebradura formada por los efectos simultáneos de tensiones internas en la tubería y sumado a un ataque localizado por agrietamiento.	Puede ocurrir por varias formas: • Agrietamiento inducido por hidrogeno (AIH). • Fragilización por hidrogeno (FH). • Agrietamiento de corrosión por esfuerzo. **Corrosión bajo tensión** • Puede ocurrir rápidamente y ocasionar fallas catastróficas. • Se necesita de un gran esfuerzo de tensión. • La fuente de tensión pude incluir una carga externa, esfuerzo residual.		www.quimicanet.com

Tabla 1.2: Clasificación de los Mecanismos de Corrosión Interna. **Fuente:** Autores

1.3 Evaluación de Defectos en Tuberías

1.3.1 Defectos en el proceso de obtención y armado de las redes de vapor.

La Corrosión puede aparecer cuando existan varios defectos en la superficie de la tubería los cuales son capaces de crear una diferencia de potenciales, entre los más importantes tenemos:

- Impurezas en la matriz metálica: Es la inclusión de diferentes compuestos químicos dentro del metal.
- Partículas contaminantes en la superficie: La superficie puede ser contaminada por ejemplo durante el laminado por el uso de rodillos sucios, sufriendo golpes con otros metales durante el transporte o roces con herramientas de trabajo durante el almacenamiento.
- Uniones bimetálicas: Piezas formadas por metales distintos en contacto directo entre sí.
- Discontinuidades en los recubrimientos: La presencia de una discontinuidad puede ser el origen de una pila de corrosión entre el metal y el recubrimiento
- Regiones de metal sometidas a tensión y deformación elástica: Las regiones sometidas a tensiones tienen tendencia a comportarse más anódicamente ya sea por la deformación de la estructura cristalina o la aparición de grietas en la superficie del metal [19].

1.3.2 Mecánica de la Fractura de las tuberías.

Las principales condiciones limitativas o criterios para el proceso de falla en la tubería son la pérdida de las condiciones elásticas del material debido al crecimiento progresivo de una grieta o hasta producir una fuga y finalmente la rotura. La mecánica de la fractura proporciona la ciencia y los modelos para entender el comportamiento de los defectos en una tubería [20]. En las líneas de vapor la mecánica de la fractura debe considerar todos los medios posibles de falla los cuales son:

- Fallas geométricas.
- Falla por fatiga.
- Falla por perdidá de material.

Las cuales las resumiremos en la tabla 1.3:

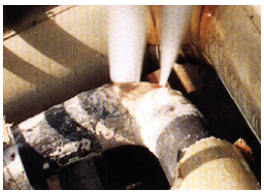
Falla de la Tubería	**Definición**	**Morfología**	**Fuente de la Imagen**
Falla Geométrica	Son fáciles de detectar ya que se presentan e forma de golpes, abolladuras que deforman la sección transversal de la tubería sin reducir su espesor.		www.pipecn.vn
Falla por fatiga	Cuando un material de una estructura está sometida a cargas cíclicas produce fatiga y riesgos de falla denominada "fractura progresiva" [21]. En las tuberías de vapor la falla ocurre sin presentar deformaciones apreciables y la rotura es cristalina.		www.analisisdefractura.com
Falla por pérdida de material	Esta produce más fugas en la tubería que roturas., y tenemos: **Arrancaduras.-** Es producida por un objeto exterior a la tubería y que remueve una parte de esta. **Corrosión.-** Incluida en este modo de falla.		www.easervices.com

Tabla 1.3: Fallas mecánicas de la tubería. **Fuente:** Autores

Los primeros análisis de defectos causados por la corrosión son propuestos por la American Gas Association (AGA) en Battelle Memorial Institute EEUU [1].

La mayoría de estos análisis de defectos causados por la corrosión aparecen a finales de los 60, estos estudios se basaban en criterios de falla de defectos que atraviesen o afecten parcialmente a la tubería, midiendo y graficando el esfuerzo de falla sobre la resistencia a la fluencia versus la predicción de la falla sobre la resistencia a la fluencia (figura 1.3).

Figura 1.3: Graficas de falla de la tubería [1].

La finalidad de estos primeros análisis era la de predecir el fallo de la tubería, y se centraban en identificar si la falla por defecto de la tubería se debía a una fuga o rotura.

1.4 Evaluación de las Variables que Intervienen en la Corrosión

Entre las variables con más influencia en el proceso corrosivo de la tubería y sus accesorios destacan la temperatura, la presión y la composición del vapor o fluido en contacto con el metal. Las variables que intervienen en el proceso corrosivo van definidas en la tabla 1.4:

1.5 Normas para Análisis y Detección de Corrosión en Tuberías de Vapor

Revisaremos algunas normas de organismos dedicados al estudio de la corrosión para evaluar cuál es la que aplicaremos a nuestro estudio.

Variable de la Corrosión	**Importancia**	**Efecto**
Vapor de Agua	El agua condensada que resulta del flujo del vapor puede adsorberse en las superficies de la tubería donde exista una humedad baja.	La corrosión dada por esta variable es insignificante ya que el vapor de agua no es un electrolito, pero es recomendable usar una especificación o recomendación de masa x volumen estándar para evitar la condensación de vapor a lo largo de las tuberías.
Temperatura	Al elevar la temperatura del vapor se le proporciona a su vez mayor energía cinética a los átomos de la tubería lo que facilita la ruptura de los enlaces químicos.	Se aumenta la probabilidad de que ocurra la corrosión así como de acelerar la velocidad de avance de la misma, aunque si esta es elevada sobre el punto de roció del agua disminuiremos la corrosión.
Presión	Si se eleva la presión de flujo del vapor es de esperar que se aumente la concentración de la corrosión en la superficie de la tubería.	Se eleva la velocidad de corrosión.
Efecto del PH	El agua es un solvente capaz de disolver materia orgánica u componentes orgánicos los cuales elevan la corrosividad del agua.	La mayoría de metales utilizados en redes de vapor enfrentan una aceleración de la corrosión en medios ácidos, mientras que en medio neutros la velocidad de corrosión es baja, y en medios básicos esta depende del metal.
Dureza del Agua	Esta depende que iones posea el agua, si contiene iones de calcio (Ca^{++}) o de magnesio (Mg^{++}), se la conoce como agua "dura" ya que es menos corrosiva, y por el agua que no contiene estos iones es conocida como "suave" y es más corrosiva.	Cuando el agua es dura puede desarrollar incrustaciones como las generadas por el carbonato de calcio en las paredes internas de la tubería que podrían proteger a la tubería de la corrosión así como también llegar a obstruirla.
Dióxido de Carbono	El dióxido de carbono es un gas inodoro e incoloro; cuando se encuentra a una presión parcial suficiente en presencia de agua (dependiendo de la química del agua), aparecerá la corrosión interna en las tuberías y componentes de acero al carbón. La corrosión por CO_2 también se conoce como corrosión "dulce"debido a la ausencia del efecto del gas ácido (sulfuro de hidrógeno H_2S) en la corrosión. Se ha encontrado que cuando hay agua suave, como cuando se forma durante la condensación del vapor, el CO_2 se vuelve muy corrosivo, formando ácido carbónico (H_2CO_3).	Cuando se forma el ácido carbónico, el pH del condensado en el sistema disminuye (se crean condiciones ácidas y aumenta la concentración de H^+) y se incrementa la tasa de corrosión. Si hay agua dura, el CO_2 puede formar carbonatos (CO_2^{-3}) y/o bicarbonatos (HCO_3) que forman una incrustación protectora en la forma de sales como el calcio o el carbonato de magnesio y el bicarbonato de calcio. Los bicarbonatos también actúan como agente pasivador, consumiendo ácidos (H^+) y no permitiéndoles disminuir el pH y volverse corrosivos. Sin embargo, el efecto pasivador se contrarresta ligeramente por el efecto del bicarbonato como reactivo catódico.

Tabla 1.4: Variables que intervienen en la Corrosión. **Fuente:** Autores

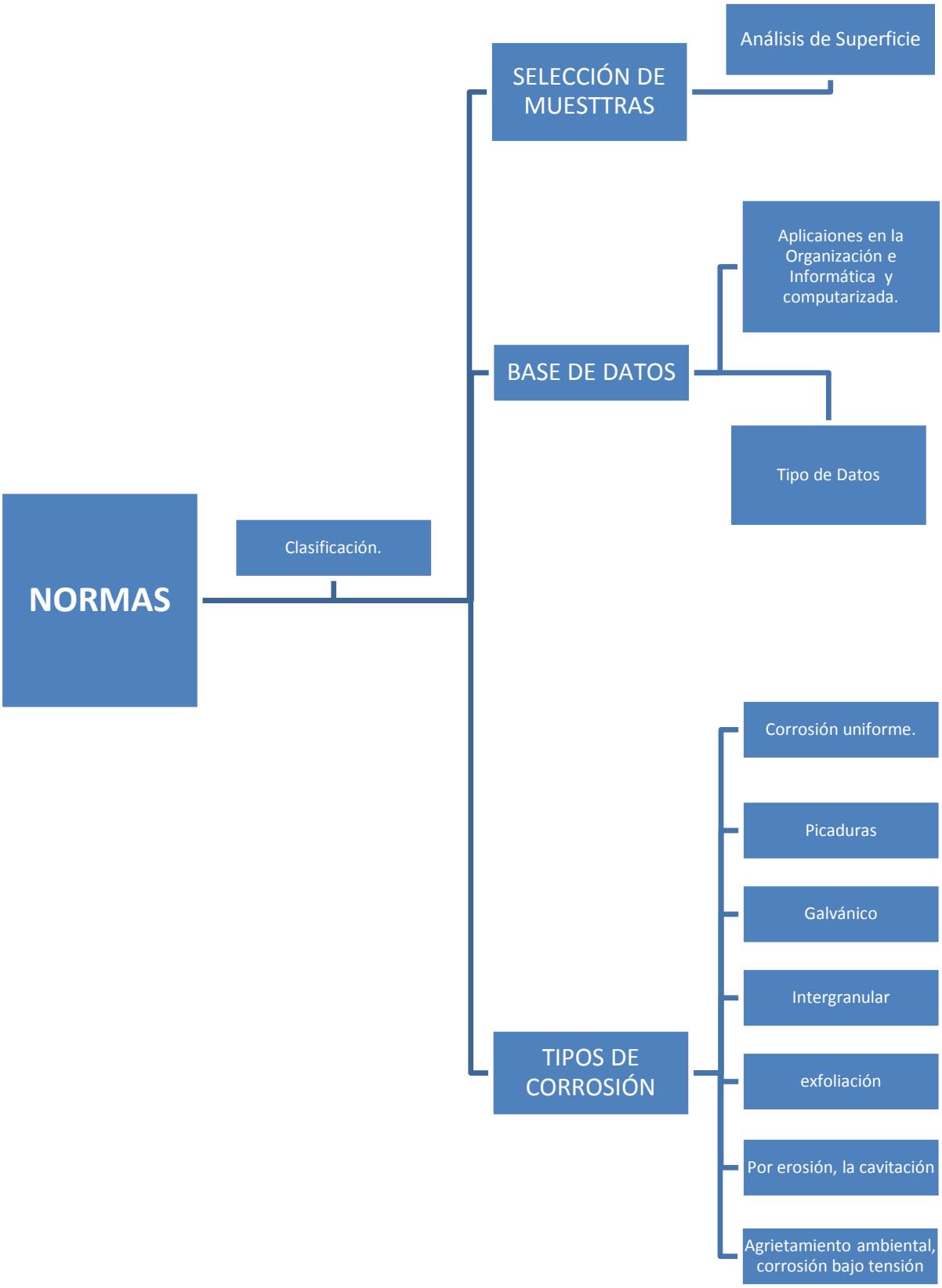


Figura 1.4: Normas para el Estudio de la Corrosión. **Fuente:** Autores.

SELLECCION DE MUESTRAS	**Principios Generales para Selección de muestras**	ASTM E673: Terminología relacionada con el análisis de superficie
	Espectroscopia barrido de Electrones	ASTM E827: Práctica estándar para la identificación. Elementos en la espectroscopia de barrido electrones.
		ASTM E984: Guía para revisión de los efectos químicos y efectos de la matriz en espectroscopia de barrido de electrones
		ASTM E1127: Guía para perfiles de profundidad en barrido de electrones
		ASTM E995: Guía a fondo técnicas de sustracción en barrido de electrones.
		ASTM E983: Guía estándar para minimizar haz de electrones no deseados.
		ASTM E1078: Guía para la manipulación de las muestras en efectos de barrido de electrones.
	RAYOS X Espectroscopia de Fotoelectrones	ASTM E1523: guiar a cobrar las técnicas de control y referenciación de carga en rayos – X
		ASTM E1217: Práctica de determinación del área contribuyente de espécimen para detectar la señal del Rayos X
	Espectroscopia de masas de iones secundarios (SIMS)	ASTM E1505: Guía para la determinación del SIMS, factores de sensibilidad relativos de iones de estándares externos implantados.

	Aplicaciones en la Organización e Información computarizada.	Formatos de lectura de datos estandarizados	ASTM G107: Guía para formatos para colección y compilación de datos para los metales de base de datos informatizada
			ASTM G135: Guía para el intercambio automatizado de datos de la corrosión de los metales.
		Datos de pruebas Electroquímicos	ASTM G3: Práctica para convenios aplicables para Mediciones Electroquímicas en las pruebas de corrosión.
			ASTM G69: Medidas prácticas de potencial de corrosión Aleaciones os aluminio.
			ASTM G82: Guía para la elaboración y el uso de la serie galvánica para predecir la resistencia a la corrosión galvánica.
BASE DE DATOS	**Tipos de Datos**	Actual de Densidad de Corriente.	ASTM G102: Los detalles sobre cómo calcula la fuerza de constante por Stern Geary.
			ASTM G05: Método de prueba de referencia para la toma de potencia estática y potencia dinámica.
			ASTM G61: Método para conducir el ciclo de la polarización potencial dinámica.
			ASTM G108: método de prueba para la rehabilitación electro química.
			ASTM G71: Guía para la conducción y evaluación de la corrosión galvánica.
		Ruido Electrónico.	ASTM G31: Práctica De laboratorio. Inmersión de metales en la prueba de corrosión.
			ASTM G1: Método de practica para preparar, limpiar evaluar la corrosión.
		Corrosión Localizada	ASTM G78: Guía para las pruebas de corrosión de la grieta de la base de hierro y base de níquel.
			ASTM G46: Guía para la examinación y evaluación de picadura de corrosión.

TIPOS DE CORROSIÓN	***1. CORROSIÓN UNIFORME***	1.1 Prueba por pérdida de masa.	ASTM G1: Práctica para preparación, limpieza y muestras de ensayo de corrosión.
			ASTM G31: Práctica para inmersión en el laboratorio del método de corrosión.
		1.2 Pruebas electromecánicas.	ASTM G59: Practica para realización de mediciones de resistencia de polarización potencio dinámicas.
			ASTM G102: Valores y métodos de determinación más precisa de las aleaciones de los elementos múltiples.
		1.3 Otras Técnicas.	ASTM G96: Práctica para monitores en línea de corrosión en equipos de planta.
	2. CORROSIÓN POR PICADURA	2.1 Prueba con probeta testigo.	ASTM G4: método de realización de pruebas con probetas testigo de corrosión en equipos de la planta.
			ASTM G46: Prácticas de examinación y evaluación de corrosión por picadura.
		2.2 Ambientes de expansión.	ASTM G48: Pruebas por método de picadura y resistencia a la corrosión de acero y relaciones por el uso de una solución de cloruro férrico.
		2.3 Polarización Ciclica.	ASTM G61: Pruebas de método de conducción cíclica para realización de mediciones de polarización potencio dinámica para la susceptibilidad a la corrosión localizada en el hierro.
			ASTM G100: Método para la realización de la polarización cíclica galvánica.

TIPOS DE CORROSIÓN		3.1 Técnicas de Prueba	ASTM G71: Guía de Evaluación y conducción de corrosión Galvánica, prueba en electrolitos.
			ASTM G33: Práctica para grabación de datos de las pruebas de corrosión atmosférica de muestras de acero con recubrimiento metálico.
		3.2 Pruebas electromecánicas.	ASTM G82: guía para el desarrollo y uso de una serie galvánica para predecir el rendimiento de corrosión galvánica.
	3. CORROSIÓN GALVANICA		ASTM G97: Método de ensayo para la evaluación de laboratorio de muestras de ensayo ánodo de sacrificio de magnesio para aplicaciones subterráneas.
		3.3 Pruebas Atmosféricas.	ASTM G116: Práctica para la realización de la prueba ATMOSFERICA del cable en el perno de la corrosión galvánica.
			ASTM G149: Práctica de la prueba de conducción de lavado durante la corrosión galvánica atmosférica.
			ASTM G30: Práctica de hacer y usar probetas en curva U y estrés para corrosión.
	4. CORROSIÓN INTERGRANULAR	NORMAS	ASTM A708: Práctica para la detección de la susceptibilidad a la corrosión intergranular en acero inoxidable austenítico severamente sensibilizado.
			ASTM A262: Se especifica la prueba de ácido sulfúrico para los aceros inoxidables austeníticos.
			ASTM A763: Método de ensayo para ciertos aceros inoxidables ferríticos.
			ASTM G28: Ataque intergranular.
	5. CORROSIÓN POR EXFOLIACION	PRUEBAS Y NORMAS	ASTM G15: Terminología relativa a las pruebas de corrosión.
			ASTM G112: Guía estándar para la realización de las pruebas de corrosión por exfoliación en las aleaciones de aluminio.
			ASTM G85: Práctica para la prueba de niebla salina modificada.
			ASTM G66: Método para la evaluación visual de la exfoliación, susceptibilidad a la corrosión.

		ASTM G76-95 (2000): Determinación de la pérdida de material por parte de partículas sólidas.
TIPOS DE CORROSIÓN	**6. CORROSIÓN POR EROSIÓN, CAVITACIÓN Y DESGASTE.**	ASTM G73-98: Práctica para la prueba de la erosión de impacto líquido.
		ASTM G32: Método de ensayo para la erosión Cavitación usando aparato vibratorio.
		ASTM D4170: Método de ensayo para la protección contra el desgaste por rozamiento de grasas y lubricantes.

Tabla 1.5: Clasificación de las Normas de Corrosión. **Fuente:** Autores

1.6 Técnicas Desarrolladas para Determinar el Nivel de Corrosión Mediante el Procesamiento Digital de Imágenes

1.6.1 Microscopia Óptica y Electrónica de Barrido (MEB)

Este instrumento funciona con un haz de electrones que es acelerado en un campo eléctrico, generando una imagen de alta resolución y enfocando una gran parte de la muestra (figura 1.5).

El método de análisis necesito de la instalación de probetas testigo de corrosión por dos meses, finalizado este tiempo se realizó la medición del espesor de la tubería mediante ultrasonido y por pérdida de peso para calcular la velocidad de corrosión [2].

El método nos sugiere que:

- Que las tuberías que presentan una pérdida de peso superior al 65%, el deterioro de la misma será visible.
- Y las tuberías que presenten índices menores de pérdida de peso del 25%, no se podrá apreciar deterior visual.

Se realizó un análisis químico del físico-químico de la variabilidad del PH del agua para ser analizada con las condiciones de los índices de Langelier que mide la saturación

Figura 1.5: Microscopio electrónico de barrido [2].

del agua y Riznar que mide la estabilidad, los cuales se utilizaron para indicar si el agua es corrosiva o no lo es, el mismo que va en conjunto con el análisis de la microscopía de la muestra y el análisis pasa a ser llamado MEB-EDX.

Para el índice de Langelier la condición es que si los valores de saturación son menores a 0 (IL<0) el agua tienen tendencia a ser corrosiva, mientras que para los valores del índice de Riznar mayores a 9 (IR>9) se considera el agua intolerablemente corrosiva.

Por último procedieron a tomar las fotos de la tubería corroída (figura 1.6) para ser investigada en la base de datos de tuberías ya previamente analizadas, y considerando el espesor actual de la tubería y su velocidad de corrosión, poder tomar por consecuente la decisión si es necesario cambiar la tubería, o a su vez estimar el tiempo en que esta deberá ser reemplazada antes de fallar.

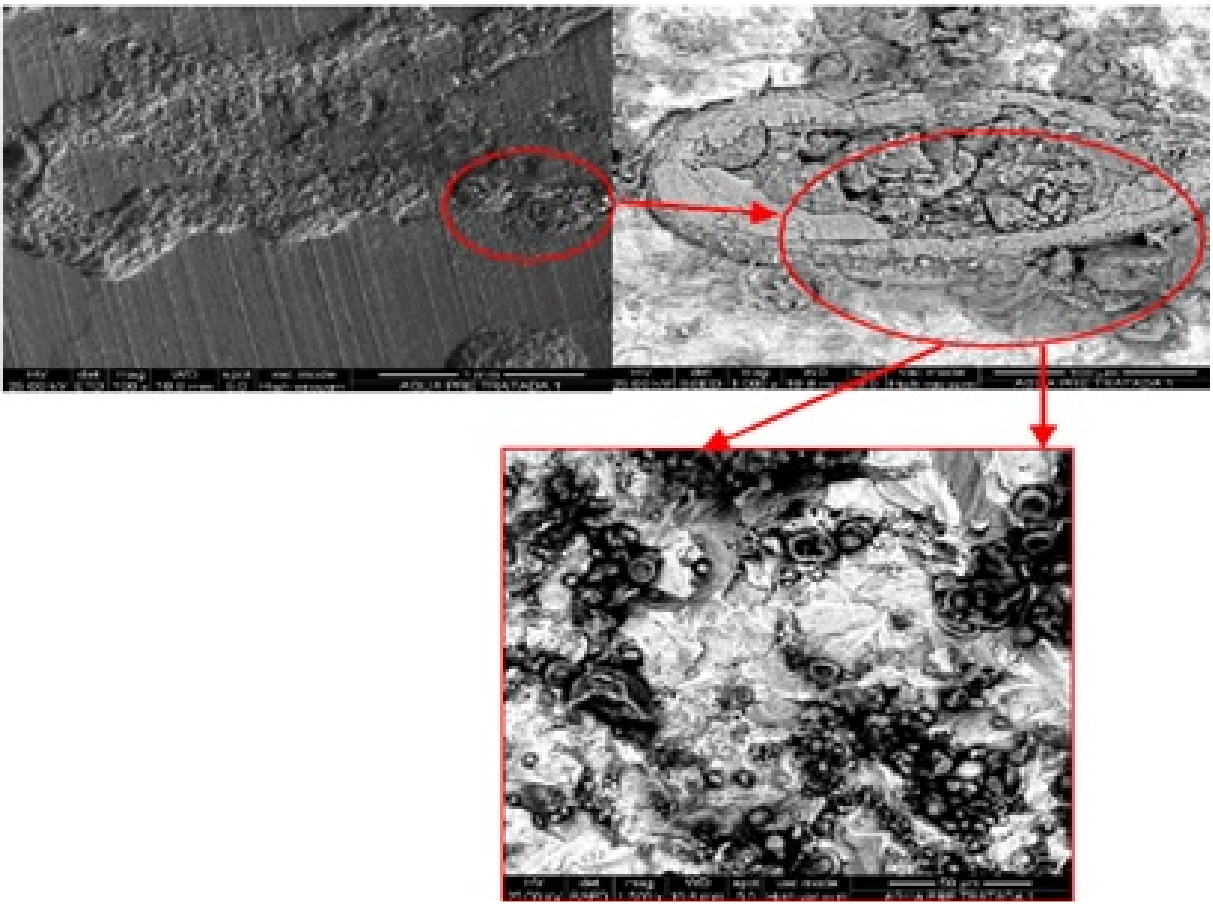


Figura 1.6: Evaluación de la corrosión por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) [2].

1.6.2 Microanálisis de rayos X (SEM)

Los objetivos de este análisis consistieron en determinar las fallas en el acero al carbono SAE 1018 utilizado en tuberías, a través de la caracterización del material, el análisis de microfotografías y el procesamiento digital de imágenes Se realizó por medio del análisis de imágenes micrográficas al interior de la superficie de las tuberías y del procesamiento digital de imágenes a través del procedimiento de umbralado en probetas con y sin daño en la superficie. El análisis necesito probetas de 2x2 cm de tuberías de acero al carbono SAE 1018 con daños y sin daños en la superficie, estas son estudiadas a través de un Microscopio Electrónico de Barrido de la marca PHILIPS XL30 Modelo TMP, acoplado a un Espectrómetro de Dispersión de Ondas (EDS) usando cristales (Oxford Instruments Microanalysis Group, 1997) [3].

Las fotografías que muestran en las figuras 1.7 y 1.8 fueron tomadas por medio del SEM utilizando el principio de bombardeo electrónico a las probetas para identificar las inclusiones de elementos químicos presentes que se presentan como capas superpuestas [3].

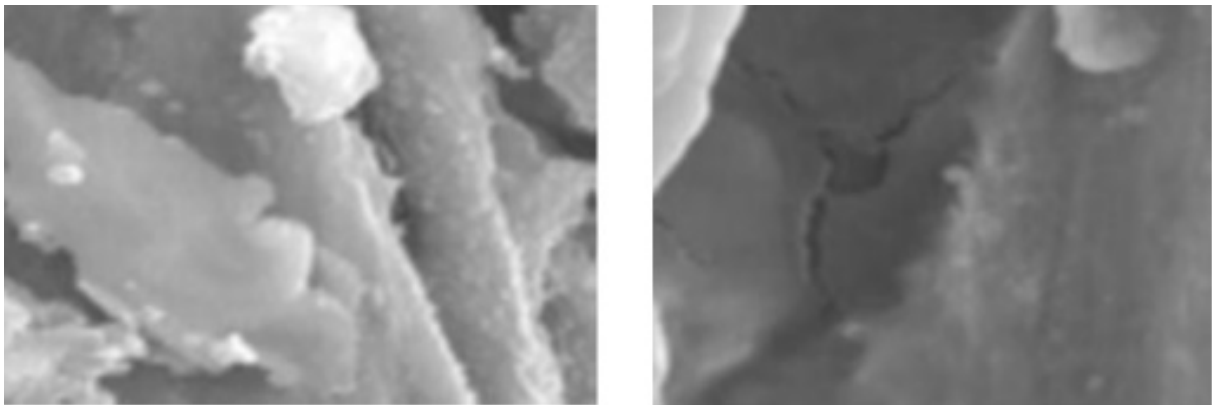


Figura 1.7: Microfotografías tomadas por SEM, en probetas al interior de las tuberías de acero al carbono SAE 1018 con daño [3].

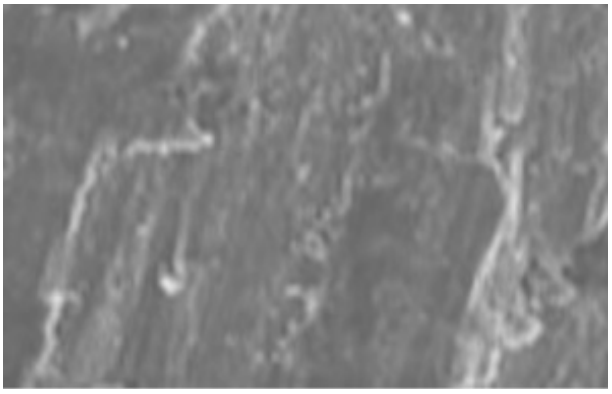


Figura 1.8: Microfotografías tomadas por SEM, en probetas al interior de las tuberías de acero al carbono SAE 1018 sin daño [3].

El procesamiento digital de imágenes, se lo realizó de acuerdo a la escala de las microfotografías digitales capturadas donde 10 um equivalen a 5,25 cm en una pantalla con una resolución espacial de 96 pixeles/pulgada, se calcula que la resolución espacial de las microfotografías es de 20 pixeles / microns (0,05 micras / pixeles). La anchura media de las imágenes recortadas es de 48,6 microns, lo que equivale a 972 pixeles de ancho. La altura media de las imágenes recortadas es de 32 μm, equivalente a 640 pixeles de alto. Estos dan 622.080 pixeles de la superficie total máxima, equivalente a1555 μm.

Todas estas muestras son procesadas digitalmente mediante el método de umbralado para extraer las regiones claras que indican la presencia de otro elemento químico no original de la tubería.

Las imágenes procesadas de las muestras de las tuberías dañadas y no dañadas se muestran con pixeles blancos,en la figura 1.9, que representan las inclusiones, y el fondo en pixeles negros. La figura 1.10 mostrada en inversión de colores, se presenta de esta manera debido a que en su formato original no permite discernir las características de una tubería sin daños. Con el fin de no introducir ningún error en los cálculos posteriores, que sería causado por la presencia de elementos blancos superpuestos en las microfotografías originales detallando los parámetros con los que fueron adquiridos las imágenes, que son analizadas, fueron recortadas para eliminar tales caracteres. Todas las imágenes resultantes fueron obtenidas utilizando el método de Otsu, conocido como técnica de Umbralado (Otsu, 1979), el cual es una técnica de análisis discriminante que supone que los pixeles de una imagen a umbralar pueden ser separados a través de un umbral en dos clases: la clase del objeto u objetos de interés, y la clase de los pixeles del fondo [3].

Al final cuando evaluaron el acero al carbono SAE 1018, material de construcción utilizado para la fabricación de las tuberías mediante microanálisis de rayos X, muestran la presencia de una concentración alta de un elemento químico. Esto se corroboro también con las microfotografías tomadas en las muestras con alta concentración del elemento químico (inclusiones de color blanco) que se encuentran en las probetas con la superficie dañada, mientras que en las muestras sin dañar no se observan presencia de inclusiones. Además con el uso del procedimiento de umbralado se logra segmentar las partes claras de las imágenes que denotan la presencia de regiones del elemento químico, lo que permite determinar el porcentaje promedio de la zona ocupada por el elemento químico, que alcanza un porcentaje significativo de 92,30%. Lo cual indicó que la tubería está completamente dañada.

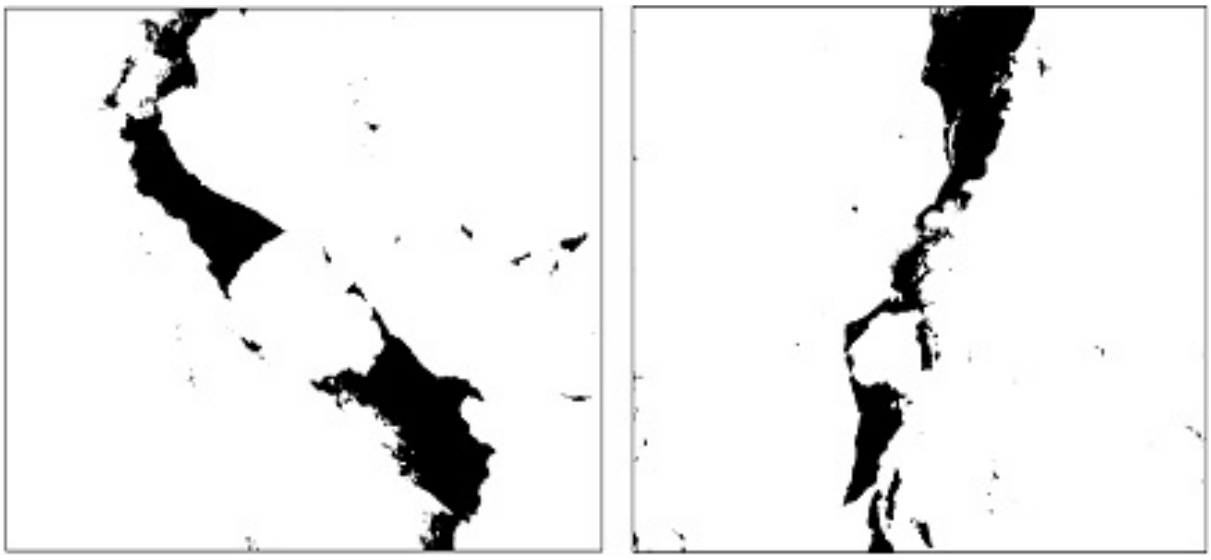


Figura 1.9: Procesamiento de la microfotografía de la muestra 3 tomada al interior de la tubería de acero al carbono SAE 1018 con daño en la superficie [3].

Figura 1.10: Procesamiento de la microfotografía de la muestra tomada desde el interior de la tubería de acero al car-bono SAE 1018 en buen estado (invertida) [3].

1.6.3 Control de Corrosión por Circuito Cerrado de TV y Procesamiento Digital de Imágenes

El circuito cerrado de televisión CCTV es muy utilizado actualmente para inspeccionar la superficie de la tubería que no es accesible, por medio de un robot móvil que lleva una linea laser y una cámara de circuito cerrado de televisión luego estas imágenes son procesadas con un algoritmo desarrollado en MATLAB capaz de detectar grietas por corrosión en la superficie interior de la tubería (figura 1.11), este ensayo no destructivo tiene resultados de hasta un 80 % de exactitud en el resultado final [4].

Después de que obtuvieron el video de la superficie interior de la tubería, este fue convertido a un formato de imagen adecuado para MATLAB, esta imagen es una conversión de aproximadamente unos 180 cuadros por segundo del video, que serían unos 2 segundos que se tarda en procesar unos 3 minutos de video.

Figura 1.11: Corrosión interna por picadura. **Fuente:** Autores

Como resultado final crearon un código que proporciona información de imágenes sospechosas de la tubería. El resultado de este proceso se puede resumir en cinco pasos principales: adquisición de la imagen, procesamiento de imágenes, segmentación de imágenes, dar características extracción, y la clasificación de patrones.

Para fines demostrativos realizaron picaduras artificiales en una plancha de metal (figura 1.12) y procedieron a la adquision de imágenes como se observa en la figura 1.13, estas imágenes fueron seleccionadas al azar que aunque parecen similares no lo son realmente ya

que pueden tener diferencias muy importantes al momento de ser analizadas técnicamente, es por eso que necesitamos que algunas imágenes sean convertidas y analizadas en una sola imagen. La velocidad de extracción de imágenes de un video es de aproximadamente un segundo por imagen. Entonces tenemos 8 imágenes en 8 segundos.

Figura 1.12: Superficie de una plancha de metal con picaduras artificiales [4].

Figura 1.13: Imágenes adquiridas con el sistema de CCTV y linea laser [4].

Luego de que obtuvieron las imágenes para poder ser procesadas por el algoritmo de MATLAB procedieron a umbralar la imagen, es decir en blanco y negro. A continuación, una operación de suavizado puede ser aplicada para limpiar la imagen. Es decir la imagen es filtrada para que mejore la continuidad en los píxeles de la imagen (figura 1.14).

El paso final del proceso de análisis de la imagen es que todas las imágenes con sus diferentes defectos sean representados en una sola imagen, la misma que contendrá

Figura 1.14: Imagen en blanco y negro ya suavizada [4].

todos los defectos de la picadura de corrosión, manteniendo en mismo punto o lugar donde se analizó la superficie de la tubería (figura 1.15)

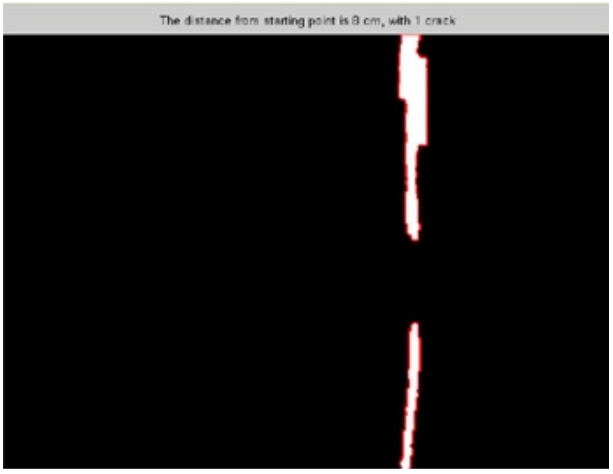


Figura 1.15: Imagen final obtenida de la combinación de las 8 imágenes de análisis inicial [4].

Como resultado final, este estudio puede obtener mayor número de defectos presentes en la superficie de la tubería que está sometida a corrosión ya que filtra y combina varias imágenes de un mismo punto de análisis. Y con esta información se puede tener una idea más clara de lo que está sucediendo en la tubería.

1.6.4 Evaluación de rasgos de color y textura para detectar la Corrosión

Existen diferentes métodos de análisis de la corrosión como mediciones mecánicas, análisis químicos y visuales de inspección; pero que por razones de económicas y de seguridad

es necesario desarrollar técnicas no destructivas. En muchos materiales, el proceso de corrosión produce una superficie áspera típica. Por consiguiente, el análisis de la textura es recomendado para diferenciar la aspereza de la superficie específica. La textura se define como la repetición de un modelo encima de una región como un juego de variaciones pequeñas, pero considerando que las variaciones son aleatorias en textura, tamaño, forma y orientación [5]. Para poder analizar las imágenes se propone descomponerla en dos partes, una parte analizará los atributos de textura de la imagen por medio de GLCM (gray level co-ocurrence matrix) una matriz de co-ocurrencia de escala de grises; y la otra parte que se encarga de los atributos de color mediante el modelo HSI (color, saturación, intensidad). Para empezar el análisis de la corrosión primeramente obtuvieron las imágenes en alta resolución en diferentes condiciones las cuales fueron seleccionadas por un experto, que identifico las regiones de interés (ROI) y dándoles una dimensión de 128x128 pixeles, algunas de estas imágenes muestran un gran número de defectos mientras que otras solo un defecto (figura 1.16).

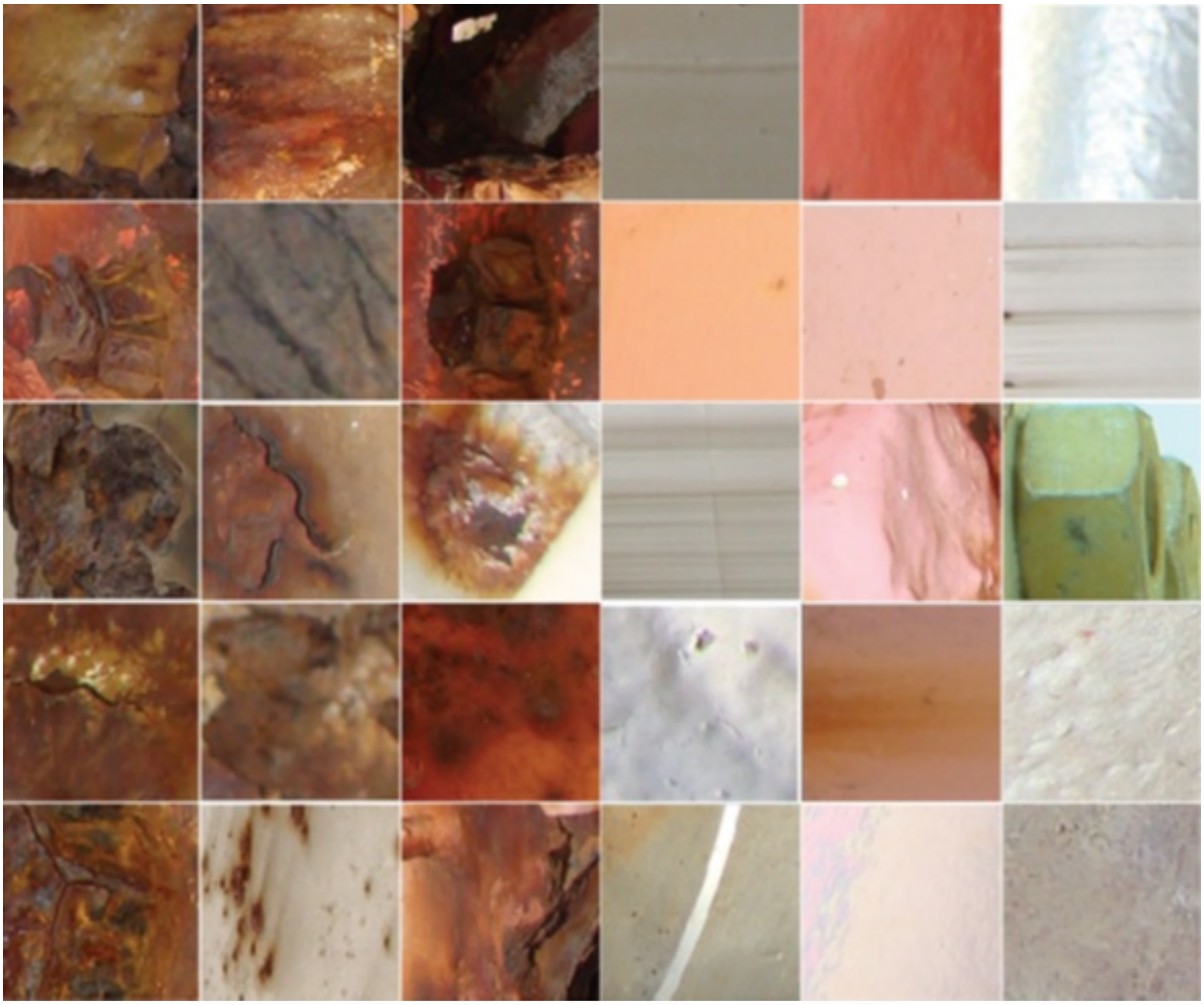


Figura 1.16: Base de datos de imágenes de superficies corroídas [5].

El GLCM se encargará de analizar cuatro atributos como el contraste, la correlación, la energía y la homogeneidad. Y los atributos de color serán analizados basados en los tres canales de color RGB (rojo, verde, negro) en el sistema HSI.

Entonces la detección de la corrosión sobre una superficie metálica queda explicado en el diagrama mostrado en la figura 1.17.

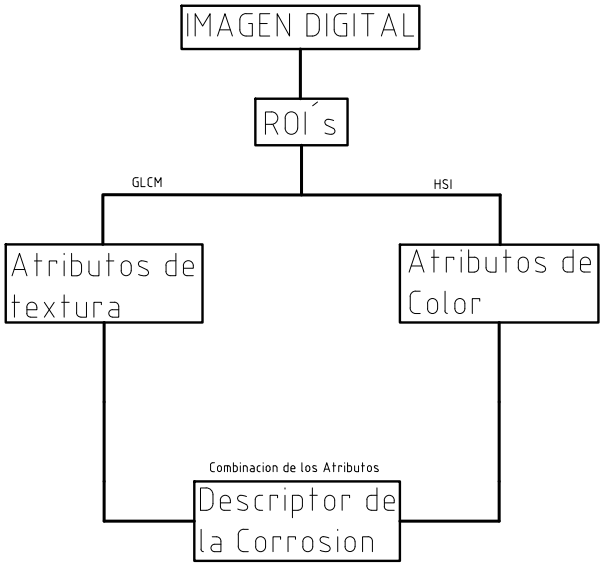


Figura 1.17: Obtención de los Atributos descriptores de la Imagen. **Fuente:** Autores

En este estudio se propuso una base de datos del descriptor de corrosión basados en tres sub-conjuntos: atributos de textura, atributos de color y una combinación entre los atributos de color y de textura como se muestra en la figura 1.18.

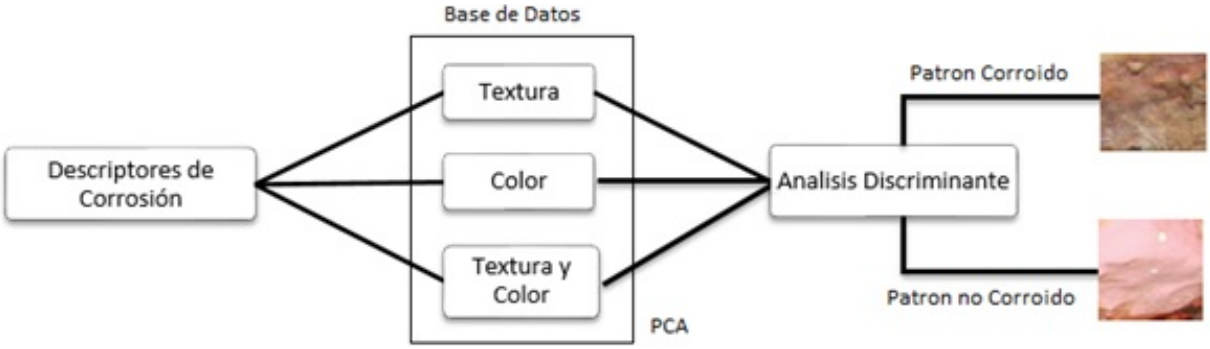


Figura 1.18: Método final para detectar la corrosión [5].

Luego se aplicó un análisis al principal componente (PCA) con un procedimiento matemático que optimiza los atributos principales y elimina los atributos redundantes. El resultado fue número pequeño de atributos sin correlación llamados los principales componentes.

Además luego se analizó imágenes de prueba tomando como referencia dos imágenes patrones de corrosión (corroída/no corroída) con las cuales fueron comparadas para ser clasificadas según su cercanía a los valores de los atributos.

Los resultados de este trabajo revelan un 79% de éxito en la obtención de atributos de las imágenes los cuales serán comparados con la base de datos y se obtendrán los valores de aproximación de los atributos para identificar si la tubería esta corroída.

1.6.5 Método Desarrollado para la determinación del nivel de corrosión en las tuberías de vapor

Una vez revisada la información de todos los métodos presentados para analizar la corrosión, y considerando las herramientas tecnológicas disponibles presentaremos nuestro método de análisis de imágenes mediante la descomposición de la imagen en atributos de textura y de color. Para esto se analizó los atributos de textura mediante la matriz de co-ocurrencia en escala de grises GLCM, ya que esta esta nos permite analizar las regiones de interés de una imagen y aunque esta nos pueda presentar 14 atributos de textura de la imagen solo se consideró 7 para hacerlo más eficaz, es decir considerando 7 medidas de textura de Haralick [22], basados en la dependencia espacial de los tonos de grises:

- Pico
- Entropía
- Disimilitud
- Energía
- Homogeneidad
- Contraste
- Correlación

> "Todas estas medidas representan una cuantificación de la variación espacial de valores de tono que es imposible definirlo por su carácter sensorial" [23]

Para poder analizar la matriz de co-ocurrencia se debe definir el tamaño de la imagen a analizar, así como de controlar el método de obtención de las imágenes para garantizar que las imágenes tengan las mismas características. Las imágenes empleadas

tienen las características de tamaño 1360x1024 pixeles tomadas con ayuda de una cámara digital Olympus DP-72 montada en un microscopio Olympus BX51M (figura 1.19), las cuales han sido seleccionadas y clasificadas en cuatro niveles de corrosión (tabla1.6).

Figura 1.19: Microscopio Digital Olympus. **Fuente:** Autores

En el programa que se explicara más adelante se revisaran las ecuaciones para atributo o medida de textura.

Además para el análisis del color se utilizó el análisis por modelo de HSI que permite descomponer el color en H (color), S (saturación), I (intensidad) en cual utiliza las ecuaciones de momentos estadísticos.

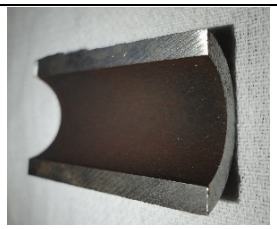
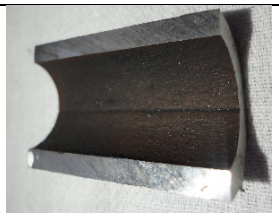
Nivel	Foto
Nivel 0	
Nivel 1	
Nivel 2	
Nivel 3	

Tabla 1.6: Clasificación de las tuberías en Niveles de Corrosión. **Fuente:** Autores

1.7 Conclusiones Parciales

Se analizó y definió que el principal impacto de la corrosión es en el factor económico seguido del factor de seguridad, se identificó cuáles son los materiales más propensos a ser afectados por este fenómeno y los mecanismos por los cuales se podría desarrollar la corrosión interna. Otra característica importante es que las tuberías aun siendo nuevas pueden presentar defectos que las hacen aún más susceptibles a la corrosión. En la bibliografía revisada se identificó algunas normas para cada tipo de corrosión aunque la mayoría nos hablan de bancos pruebas y no de pruebas de campo, lo cual nos inclina a investigar métodos desarrollados para analizar la corrosión en distintos ambientes, los cuales tienen características particulares totalmente diferentes; es por esto que se propone un método de análisis de corrosión utilizando y optimizando las herramientas disponibles con la finalidad de garantizar los resultados.

2 ANÁLISIS DEL MEDIO CORROSIVO

Introducción

Uno de los puntos más importantes y podríamos decir que el más crítico, es el análisis del medio corrosivo, ya que dentro de la industria el tratamiento de agua para Calderas es de vital importancia, sabiendo que si esto llega a fallar podríamos colapsar el caldero llegando incluso a parar la producción y su reparación podría representar un costo o valor muy elevado respecto a su presupuesto, por lo que es importante que la caldera opere en excelentes condiciones.

Una caldera básicamente es un recipiente de acero donde se quema un combustible y el calor generado en la reacción de combustión se transmite al agua líquida y se produce vapor de agua.

Existen muchas variaciones respecto al tipo de caldera, presión de operación, tamaño y capacidad, entre otros, pero todas las variantes y tipos de ellas adolecen de los mismos problemas en lo referente a la calidad del agua, lo cual afecta la vida útil y la operación de la caldera.

Calidad del Agua en una Caldera

Los problemas más frecuentes en lo referente a la calidad del agua y que influyen en la operación de la caldera son:

1. **Formación de depósitos:** La incrustación es indeseable ya que al formar una capa en los tubos y demás componentes del equipo, evitan la transmisión efectiva del calor. Esto conduce a una baja eficiencia en la producción de vapor, disminuyendo la cantidad de vapor producido por unidad de calor generado, y también causa desgaste del tubo y accesorios por fatiga térmica ya que se requiere de mayor temperatura del metal en la parte expuesta a la flama, que cuando no existe incrustación y este desgaste térmico afecta también la vida útil del equipo Los depósitos se producen por sólidos suspendidos que el agua pueda contener y principalmente por formación

de depósitos de sulfatos y carbonatos de calcio y magnesio, en mezclas complejas con otros componentes como sílice, bario, etc. Para evitar la formación de incrustaciones se deben remover los sólidos coloidales y materia suspendida que el agua contenga y ablandamiento o suavización del agua cruda antes de integrarla a la caldera.

2. **Corrosión por Oxidación del metal:** Los principales componentes de la caldera son metálicos. Los agentes que atacan el fierro y lo disuelven son los gases corrosivos como oxígeno y bióxido de carbono. También la acidez del agua causa corrosión por lo que el pH debe mantenerse entre 9.0 y 11.5. El control del oxígeno disuelto es uno de los puntos críticos en la operación de la caldera. Las picaduras o áreas de desgaste localizadas en ciertas partes de los tubos de la caldera ocurren por la acción corrosiva del oxígeno. En el condensador del sistema, el bióxido de carbono se suma a la acción corrosiva del oxígeno y destruyen en poco tiempo el tanque del condensador si no son removidos estos gases.

3. **Fragilización cáustica:** Si la alcalinidad a la fenolftaleína que es la que se encuentra en forma de carbonatos es muy alta, pueden presentarse problemas de fragilzación del metal. Esta pérdida de elasticidad, también puede ocurrir por frecuentes choques térmicos en la caldera, al complementar sin calentamiento previo el agua de repuesto para compensar por las pérdidas por fugas de vapor o por purgas de la caldera.

4. **Formación de Espumas:** Esto ocurre cuando hay presencia de materia orgánica o de una gran cantidad de sólidos disueltos en el agua de la caldera. Para evitar la formación de espumas, se purga la caldera cuando en el agua se alcanza un cierto nivel preestablecido de sólidos disueltos. Otra acción preventiva consiste en tener un tratamiento externo del agua de alimentación para evitar la presencia de sólidos suspendidos de naturaleza orgánica, así como de grasas y aceites del equipo de proceso que puedan contaminar el agua.

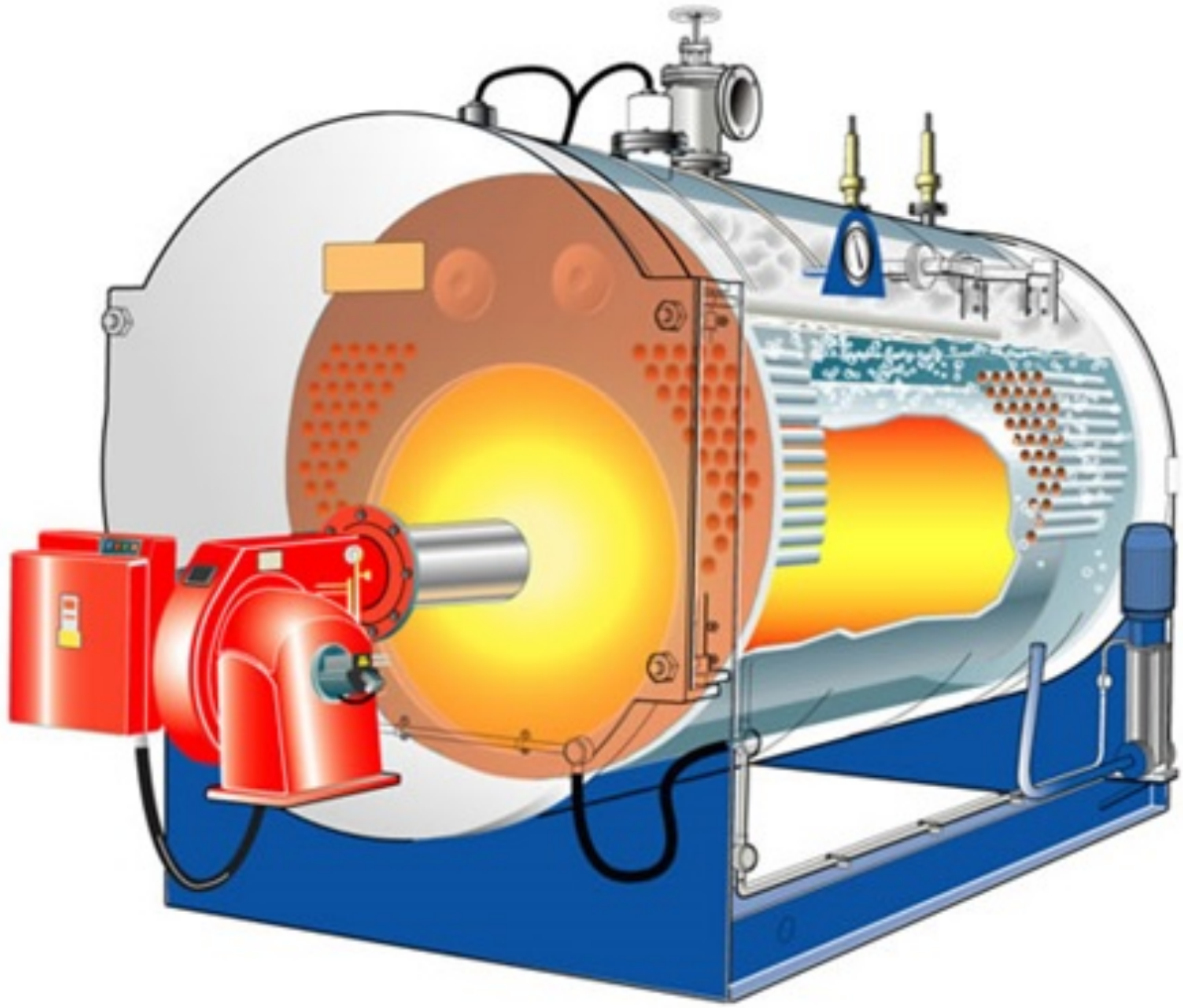


Figura 2.1: Caldero de vapor [6].

Tratamiento de Agua en Continental Tire Andina S.A.

En la empresa Continental el tratamiento de aguas inicia desde la toma de agua, la que se lo realiza desde el río Machangara, el cual tiene 2 terrazas para disminuir el caudal y conducir a las piscinas donde se estabiliza el agua como se observa en la figura 2.2.

Figura 2.2: Toma de agua del río Machangara. **Fuente:** Autores

Seguido a esto se encuentra la Planta de Osmosis, la misma que está dentro de las instalaciones de la fábrica pero no es de propiedad de Continental, esta es una planta de tratamiento de aguas contratada que se encarga de controlar todo el proceso para garantizar su desarrollo y normal uso dentro de la caldera y sus líneas de vapor.

Esta planta se encarga de convertir al agua en estado sin minerales, es decir hacerle neutra, el proceso a seguir es imposible conseguir ya que la industria no es derecho de la fábrica. En la figura 2.3 podemos observar la distribución o imagen panorámica exterior de dicha planta.

Figura 2.3: Planta de Osmosis. **Fuente:** Autores

Una vez conseguido que el agua se encuentre en estado neutro, procede a ser bombeada hacia un tanque - Reservorio donde el agua se mantiene a una temperatura de 18° C, el cual se encuentra ubicado cerca del desaireador como se observa en la figura 2.4.

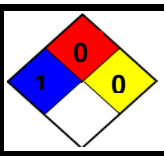
Figura 2.4: Tanque – reservorio.**Fuente:** Autores

Luego el agua es llevada por medio de una bomba al Desaireador, figura 2.5; el mismo que su función es calentar el agua y eliminar el oxígeno de la misma, mediante el intercambio de temperatura que se da al momento que ingresa el agua pulverizada por un tubo manteniendo un nivel constante y por el exterior de este fluye vapor con presión constante de 10 PSI, logrando que el agua se caliente a 104° C, además en este proceso se le agrega una sustancia llamada ELIMINOX de Nalco, figura 2.6; la misma que se encarga de eliminar el oxígeno presente en el agua.

Figura 2.5: Desaireador.**Fuente:** Autores

ERCO
Compañia Ecuatoriana del Caucho S.A.

648-12
Fecha: 15/09/2009
Rev. Orig.

RIESGOS QUIMICOS - MANEJO DE PRODUCTOS QUIMICOS	CODIGO	100603	4 Extremo 3 Alto 2 Moderado 1 Ligero 0 Mínimo		 Riesgo Ambiental

Nombre del Compuesto:	ELIMINOX		
Sinónimo:	Secuestrante de oxígeno	Clase de riesgo:	Ninguno
Proveedor:	NALCO	Telf. de Emergencia	9800916012

PROPIEDADES FISICAS:

Forma	Color	Olor	Fórmula química	Peso molecular
☐ Sólido ■ Líquido ☐ Gas	Inocoloro	disponible	No Definido	No Definido

PROPIEDADES QUÍMICAS		RIESGOS FISICOS			
Solubilidad con Agua:	Grado de Solubilidad	Punto In-flamación	Punto de Ignición	Reactivo con:	Prods tóxicos de combustión
Completa	100%	Ninguno	No Disponible	Oxidantes fuertes	CO, CO2, NOx.

Riesgos Agudos	Si	No
Venenoso		x
Corrosivo		x
Asfixia		x
Etiológico		x
Radiación		x
Riesgos Crónicos:		
Cancerígeno		x
Mutágeno		x
Teratógeno		x
Riesgo acuático	x	

RIESGOS PARA LA SALUD

Vía de Entrada	Limites de exposición		
	TLV-TWA	TLV-C	TLV-STEL
	—	—	—

EQUIPO DE PROTECCION

Primeros Auxilios		Información Adicional	
INHALACION:	Llévelo al aire fresco. Trate los síntomas. Llame al médico de inmediato.	Manejo y Transporte:	Evite el contacto con la piel.
OJOS:	Lavar con agua durante 15 minutos.	Almacenamiento:	Mantenga cerrados los envases cuando no se usen.
PIEL:	Lavar inmediatamente con agua durante 15 minutos.	Agente extintor:	No aplicable
		Disposición de residuos:	En tiraderos para químicos
INGESTION:	Si está consciente, induzca al vómito. Dé a beber agua. Llame a un médico de inmediato.	Derrame o Fuga:	Absorberlo con arcilla, tierra u otro absorbente.
OTROS:		Prod. peligrosos de combustión:	CO, CO2, (NO)x

FUENTE: PROVEEDOR

Tiempo de retención: 2 Años

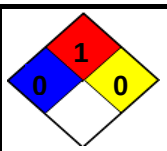
REVISION	FECHA	RAZÓN DEL CAMBIO	REVISADO	APROBADO
Rev. Orig.	15/09/2009	Inclusión en el Sistema de Gestión	Analista Seg.	Gerencia de Seguridad M.A.

Figura 2.6: Eliminox (Eliminador de Oxigeno). **Fuente:** Autores

Dentro del tratamiento de agua una vez utilizado el ELIMINOX en el desaireador nos encontramos con una bomba que es la encargada de transportar hacia la caldera a través de un serpentín aprovechando los gases de escape, donde se le agrega un agente pasivante NEXGUARD 22300 figura 2.7, para proteger al caldero internamente, el cual mantiene los sólidos en suspensión además es de tonalidad fluorescente, figura 2.8; que lo hace fácil de detectar en los análisis químicos para el control de los sólidos. Anexo A.

ERCO
Compañia Ecuatoriana del Caucho S.A.

648-12
Fecha: 15/09/2009
Rev. Orig.

FICHA DE SEGURIDAD DE MATERIALES	CODIGO	APO-200	4 Extremo 3 Alto 2 Moderado 1 Ligero 0 Mínimo		 Riesgo Bajo

Nombre del Compuesto:	NEXGUARD 22300		
Sinónimo:	Tratamiento para aguas de caldera	Clase de riesgo:	Ninguno
Proveedor:	NALCO	Telf. de Emergencia	011-15-5409-6868

PROPIEDADES FISICAS:

Forma	Color	Olor	Fórmula química	Peso molecular
☐ Sólido ■ Líquido ☐ Gas	Amarillo naranja	Ligero	No Definido	No Definido

PROPIEDADES QUÍMICAS		RIESGOS FISICOS			
Solubilidad con agua:	Grado de Solubilidad	Punto In-flamación	Punto de Ignición	Reactivo con:	Prods tóxicos de combustión
Completa	100%	>93° C	Ninguno	Ninguno	Oxidos de Carbono, Oxidos de Azufre

Riesgos Agudos	Si	No
Venenoso		x
Corrosivo		x
Asfixia		x
Etiológico		x
Radiación		x
Riesgos Crónicos:		
Cancerígeno		x
Mutágeno		x
Teratógeno		x
Riesgo acuático		x

RIESGOS PARA LA SALUD

Vía de Entrada	Limites de exposición		
	TLV-TWA	TLV-C	TLV-STEL
	No Definido	No definido	No Definido

EQUIPO DE PROTECCION

Primeros Auxilios		Información Adicional	
INHALACION:	Llevelo al aire fresco. Trate los síntomas. Llame a un médico	Manejo y Transporte:	Evitar el contacto con piel y ojos, No ingerir.
OJOS:	Lavar el área afectada con agua. Si los síntomas persisten, llamar a un médico.	Almacena-miento:	Almacenar los recipientes bien cerrados.
PIEL:	Lavar el área afectada con gua. Si los síntomas persisten, llamar a un médico.	Agente extintor:	Usar extinguidores adecuados para fuego de los alrededores.
INGESTION:	No provocar vómito sin consejo médico, lavar la boca y dar de beber 1 ó 2 vasos de agua. Llamar a un médico	Disposición de residuos:	En tiraderos para químicos
		Derrame o Fuga:	Absorberlo con arcilla, tierra u otro absorbente.
OTROS:		Prod. peligrosos de combustión:	(SO)x (CO)x

FUENTE: PROVEEDOR

Tiempo de retención: 2 Años

Figura 2.7: NEXGUARD 22300. **Fuente:** Autores

Figura 2.8: NEXGUARD 22300. **Fuente:** Autores

Una vez que llega a los calderos esta es enviada como vapor saturado a una presión de 18.8 bar, una potencia del quemador del 70%, nivel de agua del 61%, que genera una cantidad de flujo de vapor de 9.4 toneladas/hora como se ve en la figura 2.9.

a) b)

Figura 2.9: a) Datos de Caldera 1 b) Datos de Caldera 2. **Fuente:** Autores

La temperatura la cuál sale el vapor de la casa de fuerza hacia las diferentes zangas en el área de vulcanización es de 230° C, como podemos revisar en la figura 2.10.

Figura 2.10: Temperatura del vapor de proceso. **Fuente:** Autores

Esquema del Proceso de Tratamiento de Agua:

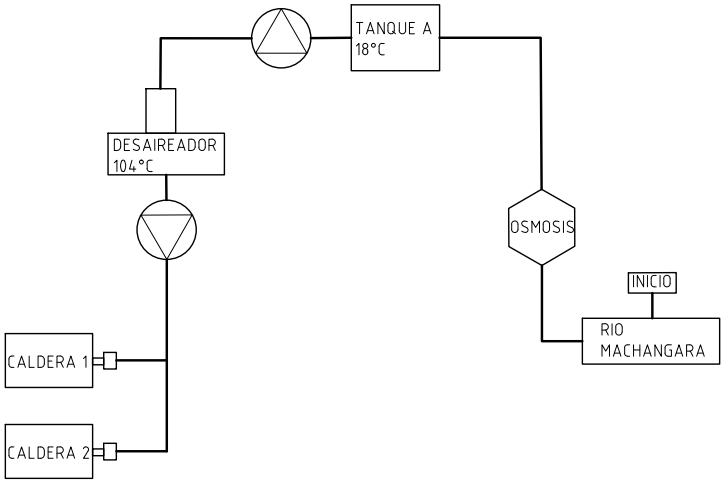


Figura 2.11: Esquema del proceso de tratamiento de Agua. **Fuente:** Autores

Temperatura y Presión de Prensas

Existen las líneas de vulcanización que se dividen en PLT que son prensas para la vulcanización de llantas pequeñas figura 2.12, y CVT siendo estas para vulcanizar llantas grandes o llamadas de camión radial figura 2.13. En las siguientes graficas que nos presenta cana una de las diferentes zanjas tanto PLT como CVT podemos observar los diferentes niveles de presión y temperatura a las que se encuentran trabajando.

- Presión de prensa en PLT: 13-17 bar
- Temperatura de prensa PLT: 170-1800C (menor tiempo de ciclo de cura)
- Presión de prensa en CVT: 10-17bar
- Temperatura de prensa CVT: 140-1550C (mayor tiempo de ciclo de cura)

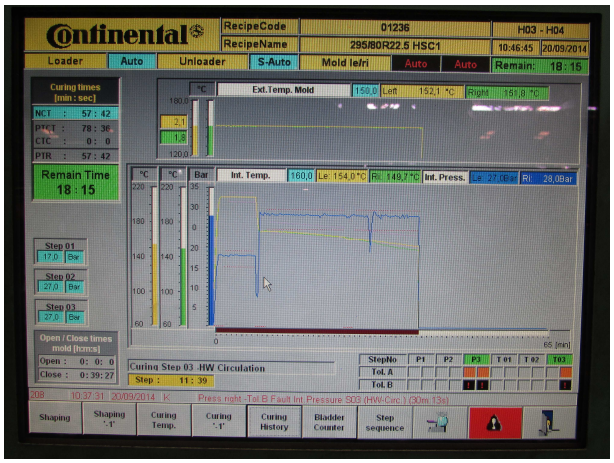


Figura 2.12: Ciclo de cura para llantas CVT. **Fuente:** Autores

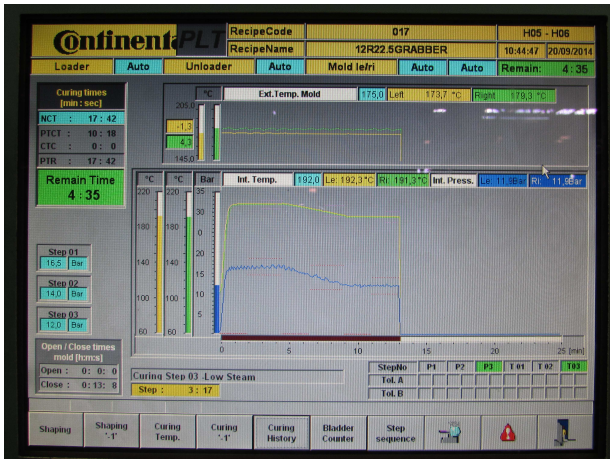


Figura 2.13: Ciclo de cura para llantas PLT. **Fuente:** Autores

La distribución de las prensas ubicadas en las distintitas Zanjas de Vulcanización se las puede apreciar en el Anexo 2, y las hojas de ciclo de cura para algunos modelos de llanta en el Anexo 3.

2.1 Obtención de Tubería y Probetas

2.1.1 Adquisición de la tubería para las diferentes probetas

La obtención de tuberías corroídas por vapor se lo realizó en la empresa Continental Tire Andina S.A. ubicadas en el área de vulcanización en diferentes zanjas figura 2.14. Esta tubería se la pudo obtener mediante varios ciclos de cambio, gracias a un mantenimiento correctivo de diferentes líneas de vapor, estableciendo y clasificando de esta manera los diferentes tipos de corrosión.

Figura 2.14: Zanjas de Vulcanización. **Fuente:** Autores

2.1.1.1 Obtención y corte de tubería

Esta tubería se obtuvo de los respectivos cambios que exige el departamento de mantenimiento por daños de corrosión en la misma, en periodos diferentes ya que la empresa procede al cambio una vez que esta falle o presente algún desperfecto; se procedió a seccionar en tamaños que se puedan transportar hasta los laboratorios de la Universidad Politécnica

Salesiana, realizando este procedimiento con disco de corte en amoladora, facilitada por la empresa Continental como se muestra en la figura 2.15.

Figura 2.15: Obtención y corte de tubería. **Fuente:** Autores

2.1.1.2 Obtención y corte de la probeta

Una vez con la tubería dentro del laboratorio de la Universidad, se obtuvieron las probetas para el análisis mediante el procesamiento digital de imágenes. El corte de las probetas y seccionamiento se lo realizó en la cortadora de disco MEGA-M250 (Manual Abrasive Saw) suministrada por PACE TECHNOLOGIES, presentada en la figura 2.16, fue utilizada para el corte longitudinal y transversal de la probeta.

Todas los cortes de las probetas se lo realizó verificando que las probetas estén correctamente centradas para su respectivo corte, esto lo obtuvimos con la ayuda de una escuadra metálica y las guías de la mordazas de sujeción de la cortadora. Para seccionar las probetas se utilizó un disco de corte Abrasivo MAXCUT-A Blade suministrado por PACE TECHNOLOGIES figura 2.16, el mismo que sirve para cortar materiales metálicos, aleaciones, compuestos de resinas, elastómeros.

2.1.1.3 Secado de probetas

Una vez cortada la probeta, por el alto flujo de líquido refrigerante se lo procede a secar con ayuda de la una máquina secadora de manos como podemos observar en la figura 2.17, facilitando así el rápido secado por la humedad que ocasiona el corte. Posteriormente se

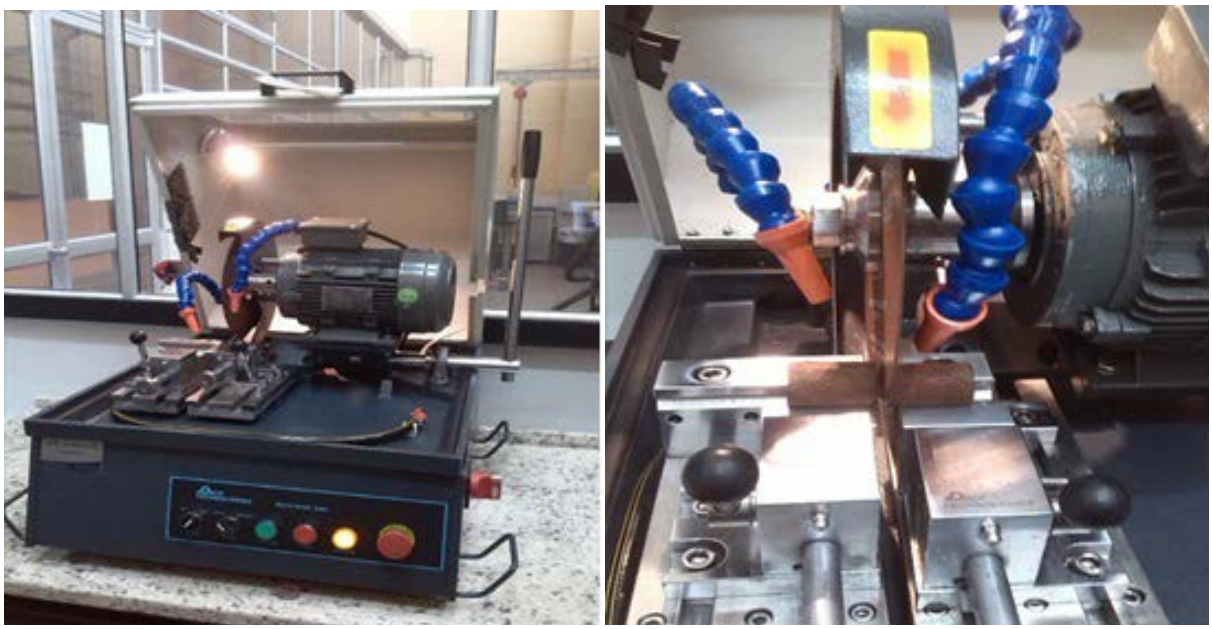


Figura 2.16: Corte de Probetas-Maquina MEGA-M250. **Fuente:** Autores

procedió a secar la probeta de forma ambiental para que el color de la misma no cambie o altere la toma de imágenes en el proceso del microscopio.

2.1.1.4 Eliminación de aristas vivas

Uno de los principales problemas que se generaron para nivelar la tubería en la mesa del microscopio previo a la obtención de la imagen, son las aristas vivas que deja el disco de corte abrasivo en diferentes puntos de la probeta, siendo estos eliminados por una lima o lija de acuerdo sea necesario, esto ayudo para que la probeta tenga mayor estabilidad y mejor manejo para la captura de la imagen. En la figura 2.18 se muestra la forma que se elimina dichas aristas.

2.1.1.5 Clasificación de los Niveles de corrosión en probetas

Las probetas una vez cortadas en sus dimensiones y secadas respectivamente, procedieron a ser evaluadas y clasificadas en sus respectivos niveles de corrosión, figura 2.19:

- Nivel 0, la menos corroída o nueva.
- Nivel 1, inicio de corrosión.
- Nivel 2, corrosión avanzada, y
- Nivel 3, siendo esta la más corroída u obsoleta.

Figura 2.17: Secado de las probetas. **Fuente:** Autores

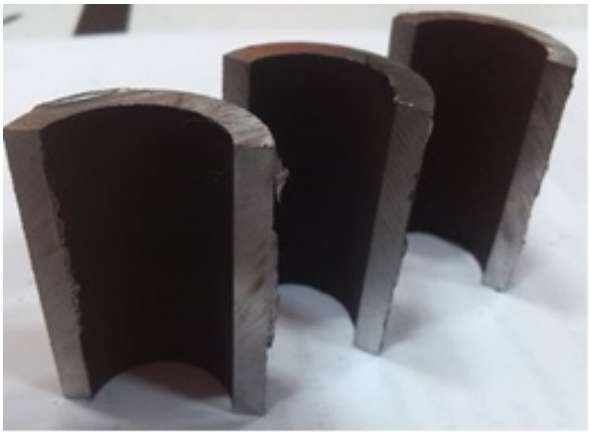


Figura 2.18: Eliminación de Aristas vivas. **Fuente:** Autores

Estos niveles fueron clasificados según el desgaste de la superficie, la profundidad de la picadura, deposición de compuestos de corrosión y estado visual de la probeta de la tubería.

Figura 2.19: Clasificación de los Niveles de Corrosión en las probetas. **Fuente:** Autores

Una vez que se realiza todos los pasos que se mencionan en el flujograma de la figura 2.20, con un buen desarrollo del proceso, se puede garantizar la excelente calidad de la imagen de cada una de las probetas, logrando detallar cada uno de los procesos y nivel de corrosión en el que se encuentra dicha muestra, clasificándolos según correspondan.

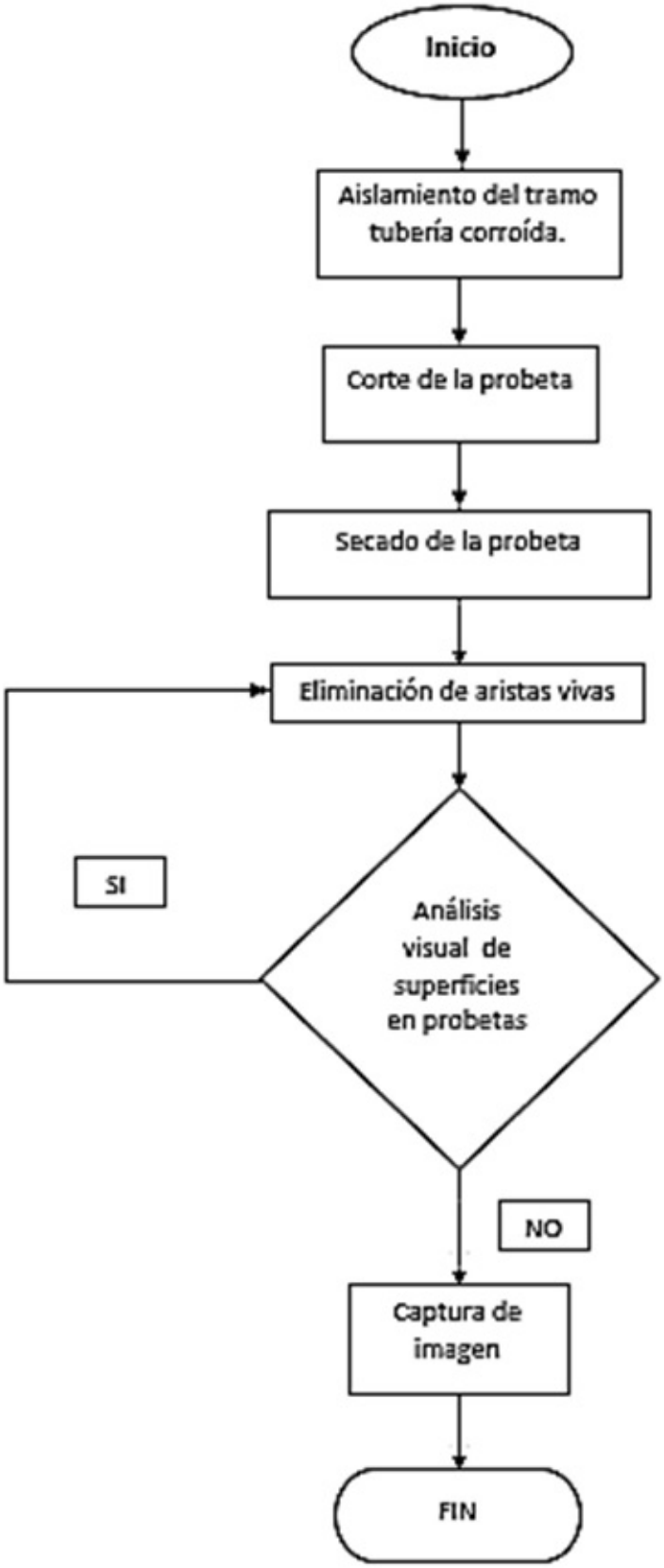


Figura 2.20: Flujograma del proceso para obtención de probetas. **Fuente:** Autores

2.2 Captura de Imágenes

Introducción

Se desarrollaron un proceso a seguir para la obtención y determinación de las imágenes de alta calidad en las diferentes probetas corroídas, utilizando un microscopio óptico modelo BX51M provisto por Olympus; el mismo que cuenta con las siguientes características: campo claro y campo oscuro, luz reflejada, cabeza trinocular y de alta resolución con, 5X, 10X, 20X, 50X y 100X objetivos, cuenta con una cámara digital incorporada Olympus DP 72, la misma que se utiliza para visualizar las diferentes superficies de las probetas y obtener las respectivas imágenes. Contamos con el Software Stream Essentials® también provisto por Olympus el cuál fue utilizado para el procesamiento de imágenes, como se muestra en la figura 2.21.

Figura 2.21: Microscopio óptico BX51M provisto por Olympus. **Fuente:** Autores

2.2.1 Microscopio Óptico

Un microscopio compuesto es un aparato óptico hecho para agrandar objetos, consiste en un número de lentes formando la imagen por lentes o una combinación de lentes posicionados cerca del objeto, proyectándolo hacia los lentes oculares u el ocular. El microscopio compuesto es el tipo de microscopio más utilizado [24]. Un microscopio óptico, también llamado "microscopio liviano", es un tipo de microscopio compuesto que utiliza una combinación de lentes agrandando las imágenes de pequeños objetos. Los microscopios ópticos son antiguos y simples de utilizar y fabricar.

2.2.2 Captura de imagen

La captura o toma de imágenes se la realizó con ayuda de una cámara digital Olympus DP72, OLYMPUS Stream Essential® software, la misma que se encuentra incorporada al microscopio OLYMPUS BX51, figura 2.22. Para el proceso de toma de imágenes se utilizó diferentes procedimientos que se describen a continuación:

- **Lugar:** Laboratorios de metalografía de la Universidad Politécnica salesiana.
- **Máquina:** Microscopio
- **Modelo:** OLYMPUS BX51M
- **Cámara:** OLYMPUS DP72
- **Software:** Stream Essentials®

Procedimiento de Set up de Máquina, Microscopio OLYMPUS BX51M

1. **Encendido de microscopio desde el interruptor principal "I=ON".**

   Para iniciar con la toma de imágenes como en todo proceso se inició con el encendido del instrumento que en este caso es el microscopio OLYMPUS BX51M, el mismo que cuenta con un interruptor principal de encendido en la parte de la base como se muestra en la figura 2.23.

2. **Selección de campo.**

   Deslice el selector de espejo palanca 1 hacia la indicación del espejo para el método de observación deseado, como observamos en la figura 2.24. BF: Reflejado observación

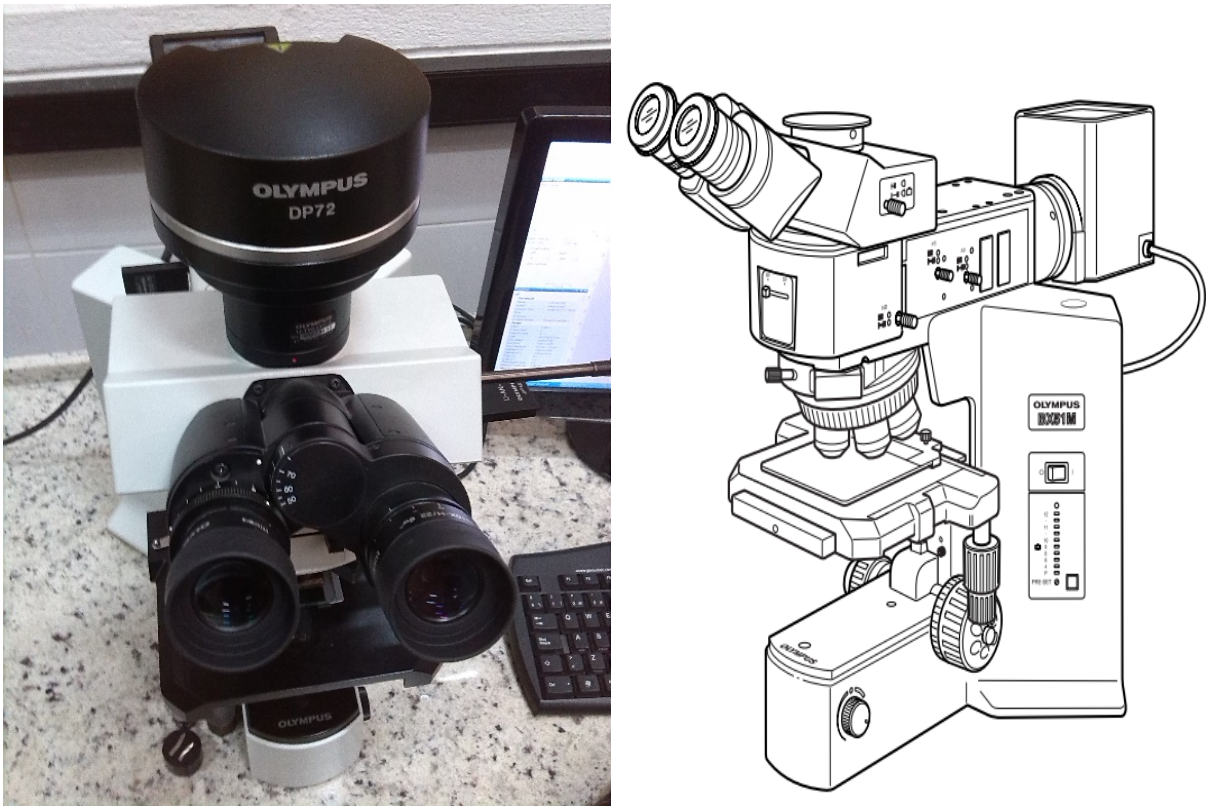


Figura 2.22: Cámara OLYMPUS DP72. **Fuente:** Autores

Figura 2.23: Interruptor principal de encendido. **Fuente:** Autores

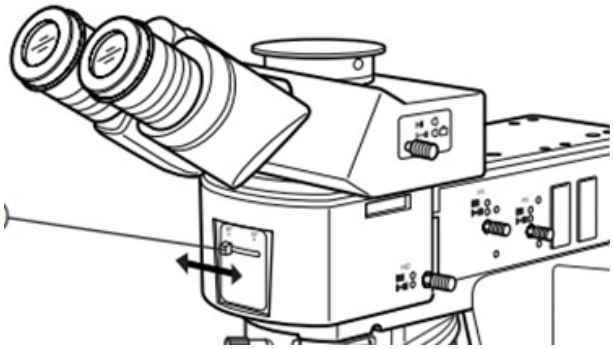


Figura 2.24: Selección de campo.

de campo claro de luz

DF: Reflejado observación en campo oscuro luz.

3. **Calibración de filtros.**

   El microscopio cuenta con varios filtros para ayuda visual, en este caso el único que vamos a utilizar para el proceso de imagen de probetas será el filtro U-25LBD (Filtro de conversión de la temperatura de calor) el mismo que ayuda convirtiendo la luz del iluminador en luz del día, siendo así utilizado para observaciones generales y en fotografías de color. Ver figura 2.25.

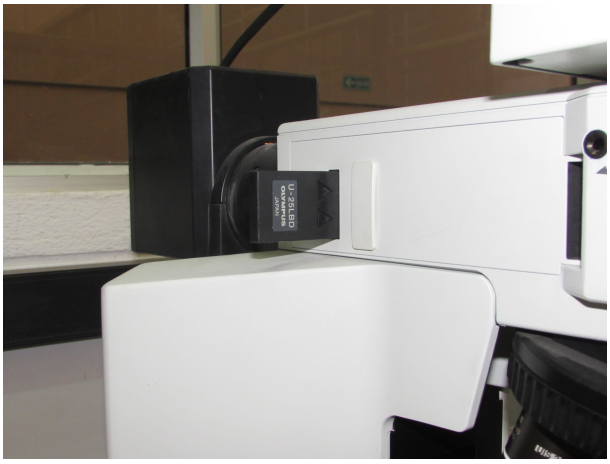


Figura 2.25: Selección de filtro utilizado. **Fuente:** Autores

4. **Selección de trinocular.**

   Se seleccionó el posicionamiento del trinocular para la visión de la imagen, se utilizó en modo cámara, visión desde monitor de la computadora como se detalla en la figura 2.26.

Figura 2.26: Selección de trinocular. **Fuente:** Autores

5. **Centrado de campo del diagrama iris (FS) y (AS).**

   Para este proceso los 2 diafragmas no son considerados o activados ya que es de interés tener el mayor campo de observación para capturar mayor detalles de las imágenes como se ve en la figura 2.27.

Figura 2.27: Campo de diafragma. **Fuente:** Autores

6. **Selección de lente.**

   Mediante el revólver giratorio que cuanta con varios lentes, se procedió a ubicar para captura de imagen el lente con zoom de 5x, ya que es el más recomendado por que entrega un mayor campo de apreciación y se acerca más al valor real de la imagen obtenida, figura 2.28.

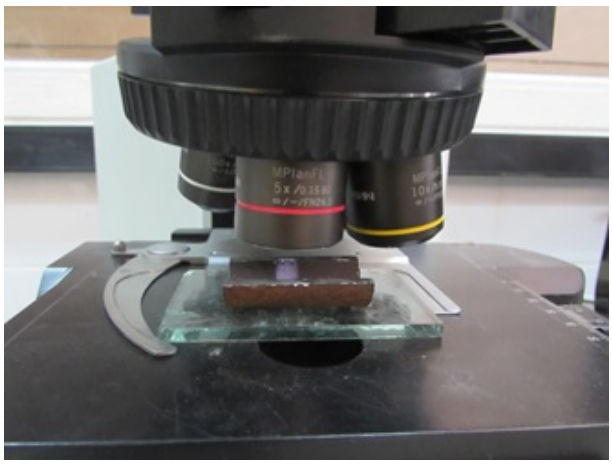


Figura 2.28: Selección del lente. **Fuente:** Autores

7. **Calibración de Placa de la platina.**

   Es necesario que se considere indicando que las placas de la platina tienen capacidades de carga máxima que son las siguientes, figura 2.29:

   - Placa de platina 500g(U.SVRM/SVLM)
   - Placa de platina 1kg(U-SIC4R2/SIC4L2)
   - No coloque muestras más pesadas a la que se indica, caso contrario provocara desgaste o dificultades en el movimiento de la platina.

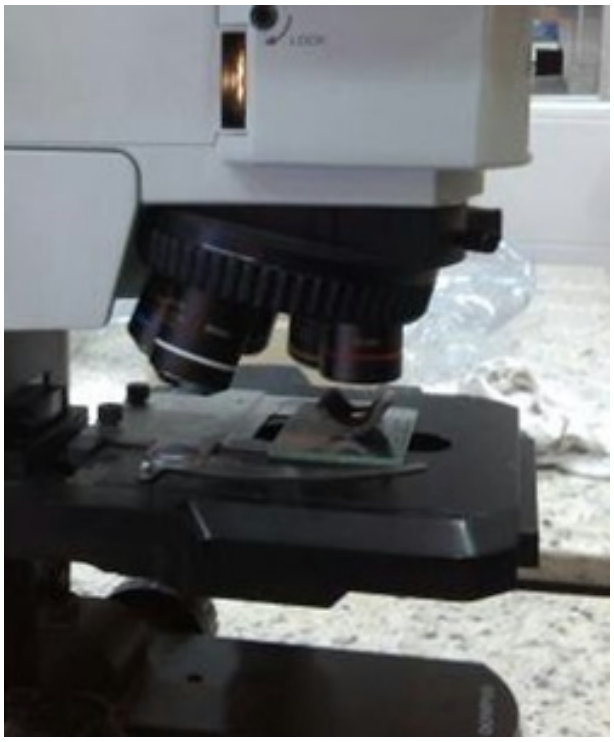


Figura 2.29: Calibración de placa de platina. **Fuente:** Autores

8. **Selección de la intensidad del haz de luz.**

   La selección de luz se realizó gracias al botón de "PRE-SET" el mismo que estabiliza o bloquea la variación de luz como se muestra en la figura 2.30.

Figura 2.30: Selección de intensidad de luz. **Fuente:** Autores

9. **Inicio de observación.**

   Una vez que se ha realizado las calibraciones del microscopio, se verifica que este en sus parámetros correctos y procedemos al inicio de la observación en el monitor de la computadora con el uso del software Stream Essentials®, figura 2.31.

Procedimiento Para la Obtención de Imágenes por Medio del Programa Stream Essentials®.

1. Se abre la ventana de herramientas, Camera Control, siguiendo los pasos descritos a continuación y como se observa en la figura 2.32.
   Ruta: Tool Windows / Camera Control.

2. En el programa dentro de la cámara de control, se activa el modo de imagen en vivo (live) como se observa en la figura 2.33; para iniciar a cargar las diferentes características de imagen.

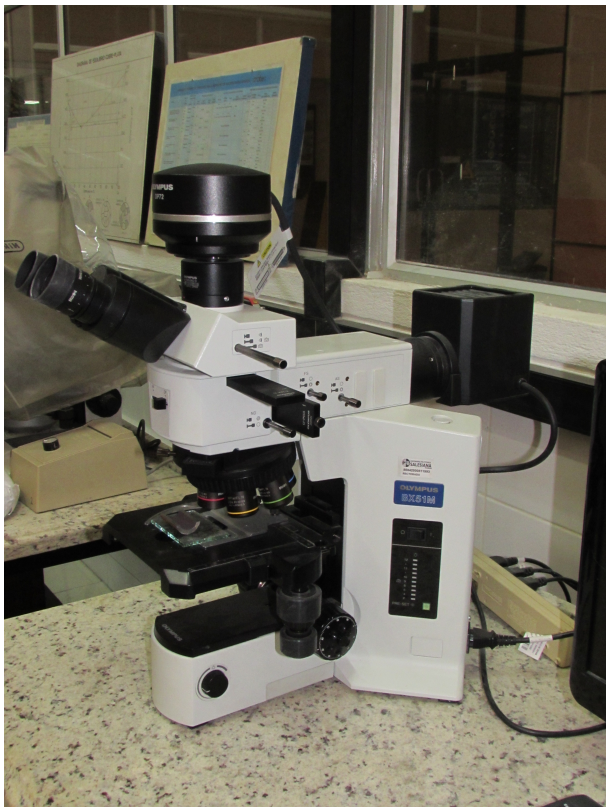


Figura 2.31: Inicio de Observación. **Fuente:** Autores

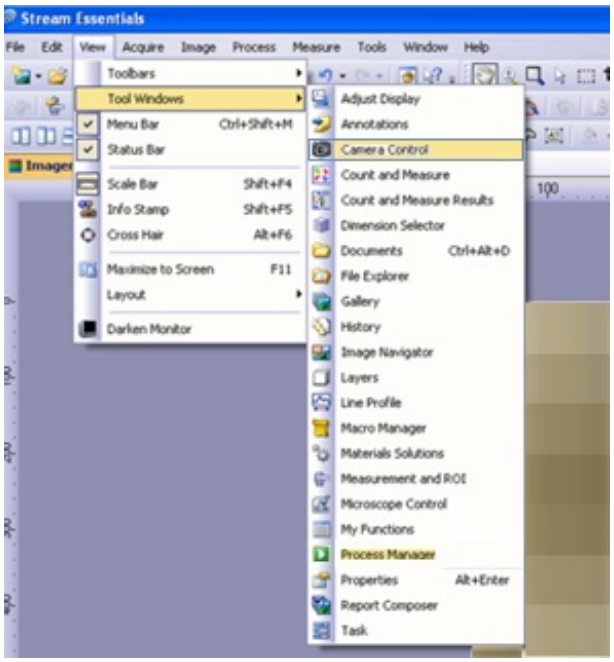


Figura 2.32: Pasos para activar la ventana Camera Control. **Fuente:** Autores

Figura 2.33: Modo de imagen en live. **Fuente:** Autores

3. Una vez ingresado al programa en modo live, lo primero que se realiza es la calibración del blanco ideal donde estos valores son configurables; los cuales se los mantiene constante para no variar las condiciones en la que fueron capturadas las imágenes anteriores o posteriores. Para la configuración de color RGB, se cargó valores que son:

   R=1.13, G=1, B=0.72 tal como se muestra en la figura 2.34:

   Estos valores se los obtuvó gracias a la ayuda de un blanco patrón, el mismo que fue un bloque rectangular completamente blanco para la toma de los valores y pruebas hasta llegar a definir con exactitud los valores de R.G.B que se muestran en la figura 2.35. Estos valores se los definieron luego de realizar varias pruebas, teniendo como resultado valores muy similares y en algún caso completamente iguales a los establecidos.

4. Una vez cargados los valores del blanco ideal, se ingresa a "cámara control" donde es necesario cargar todos las características y propiedades en las que se requiere la imagen, a continuación se indican los valores con los que se trabajó en la toma de imágenes, figura 2.36:

   - Exposición: manual
   - SFL: Activado
   - Tiempo de exposición: 40ms
   - Sensibilidad: ISO 400
   - Resolución de imagen en vivo: 1360 x 1024
   - Resolución de proceso de captura: 1360 x 1024
   - Cámara: DP72
   - Calidad de imagen: Alta
   - Contraste: Vivído

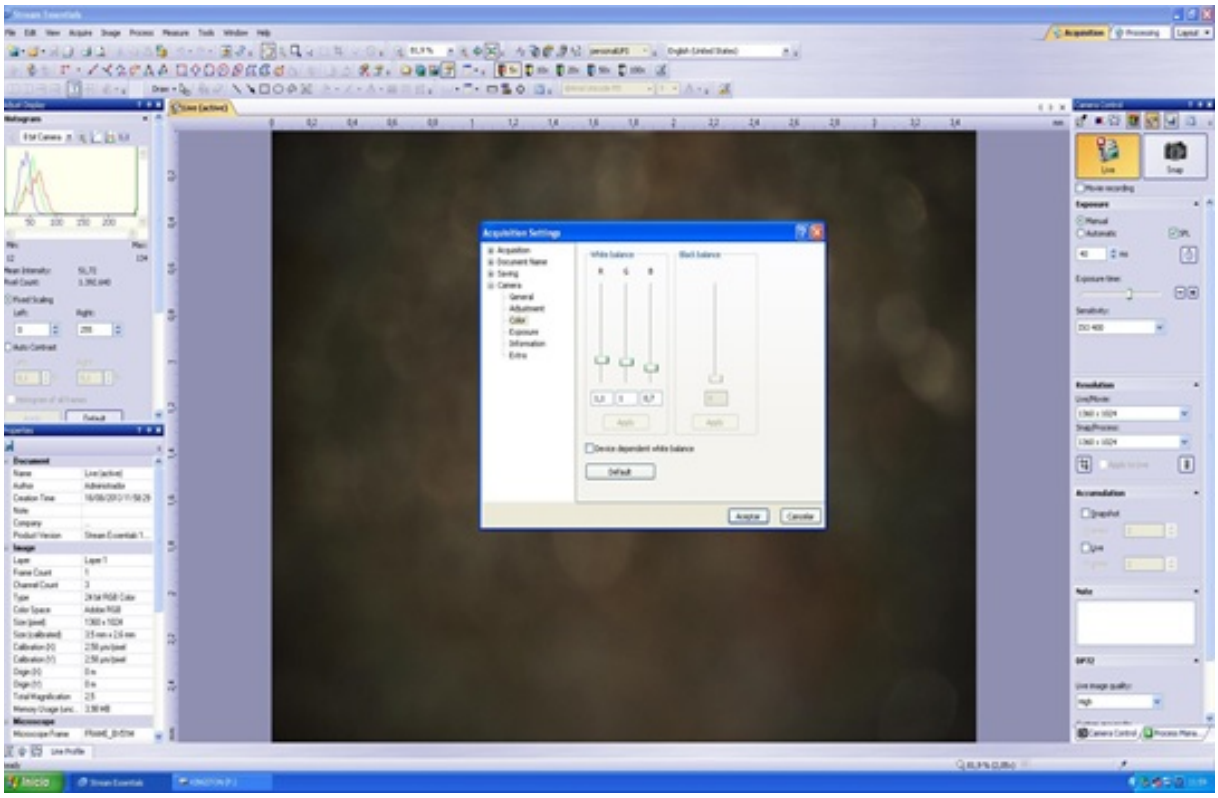


Figura 2.34: Configuración de software para la captura de Imágenes. **Fuente:** Autores

Figura 2.35: Bloque de Blanco Patrón. **Fuente:** Autores

Figura 2.36: Valores para la toma de imagen en control de cámara. **Fuente:** Autores

5. Activar la ventana de herramientas Process Manager, como se indica en la figura 2.37.

Figura 2.37: Process Manager. **Fuente:** Autores

6. Dentro de la herramienta Process Manager seleccionar la opción Manual Process y escoger la opción Instant EFI que es la abreviatura (Extended Focus Image) el cuál utiliza una serie de diferentes centros de imagen separadas para calcular una imagen resultante que se centra en todas sus partes en microscopios que tienen profundidad limitada de foco. Se podrá obtener la imagen o desplazamiento en el eje Z; como se observa en la figura 2.38.

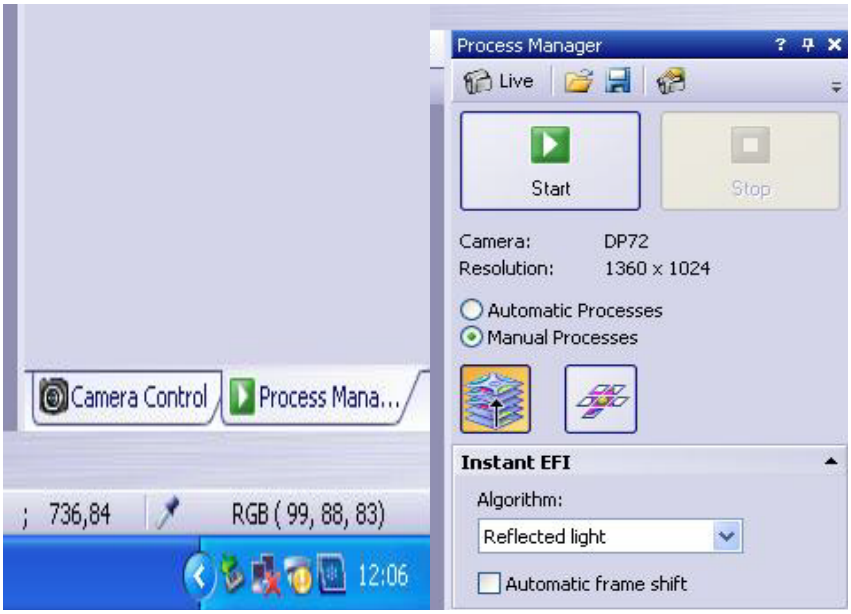


Figura 2.38: Configuración para captura de imagen con EFI. **Fuente:** Autores

7. Hacer click en el botón live de Camera Control, y proceder a mover el foco del microscópio en el eje Z, ya sea desde el punto más bajo o más alto de la imagen, como se indica en la figura 2.39.

8. Haga click en el botón start. , dentro de la ventana Process Manager se encuentra una pantalla triple, en la parte inferior derecha se observa la imagen en vivo (3), en la inferior izquierda se observa la nitidez(2), y en la superior que es la

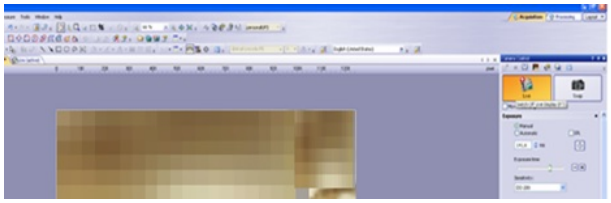


Figura 2.39: Modo en vivo para control visual. **Fuente:** Autores

más grande se observa el resultado de la imagen compuesta (1), como se observa en la figura 2.40.

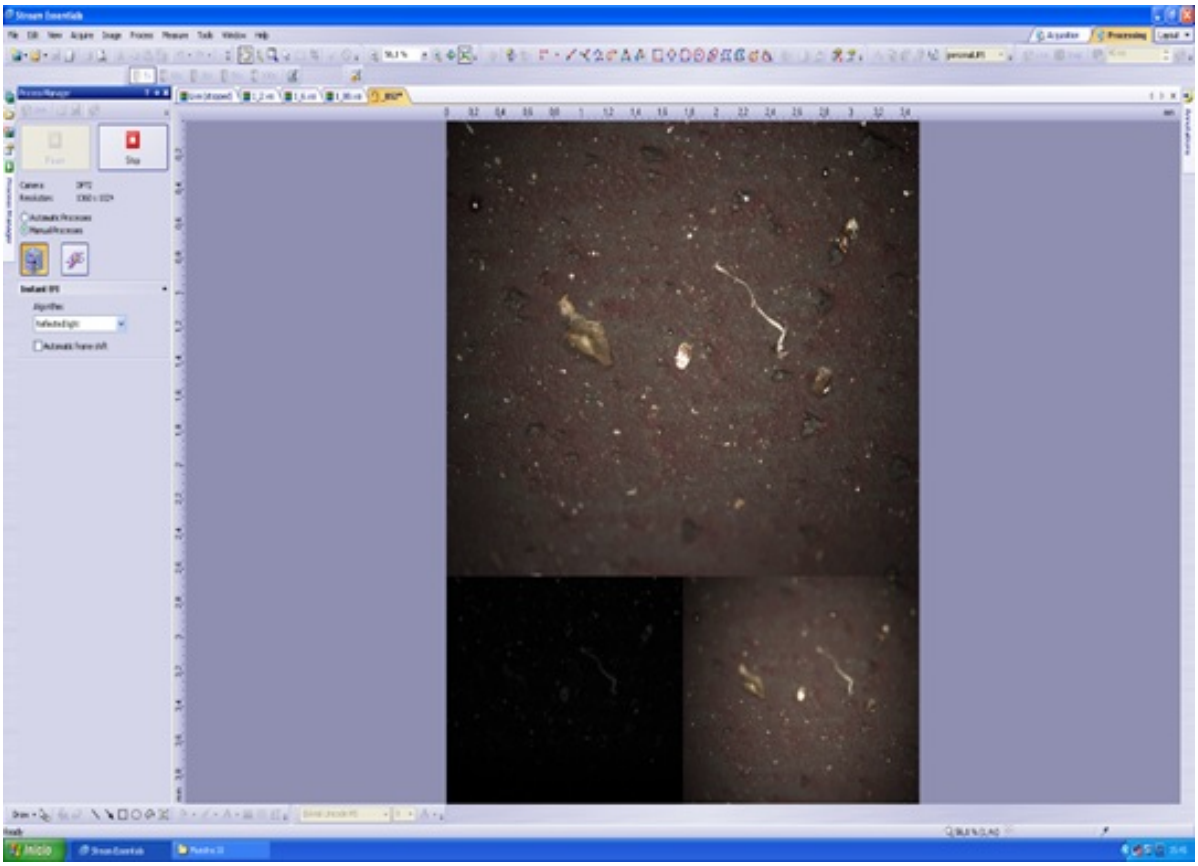


Figura 2.40: Adquisición de imagen EFI, en pantalla triple con microscopio OLYMPUS BX51M, 5X, software Strem Essentials® Versión 1.6. **Fuente:** Autores

9. Para el barrido en Z, utilice el desplazamiento micrométrico del eje Z del microscopio figura 2.41, para deslizar el escenario a través de la gama de altura de la superficie de la probeta. El software captura imágenes en los diferentes planos focales, con valores altos de nitidez en todas las imágenes. El mapa de nitidez indica que la toma de imagen esta en EFI, cuanto más brillante sea un pixel en el mapa de nitidez, mayor será la nitidez en la imagen de EFI.

10. Hacer click en el botón Stop obteniendo como resultado una imagen estándar la cual se guarda en formato VSI. Como se puede ver en la figura 2.42.

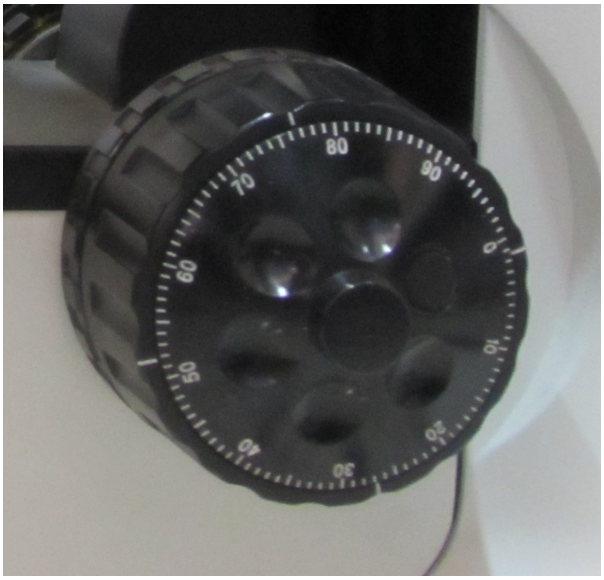


Figura 2.41: Desplazamiento micrométrico. **Fuente:** Autores

Figura 2.42: Imagen adquirida con la utilización de la herramienta EFI. **Fuente:** Autores

Las imágenes capturadas en los distintos niveles de corrosión se detallan en la tabla 2.1 en la cual se puede apreciar las diferencias entre cada uno de estas.

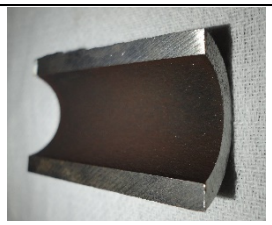
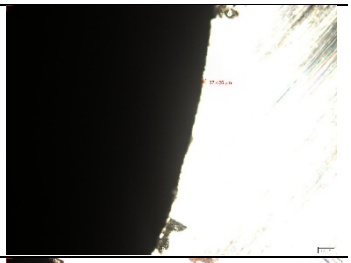
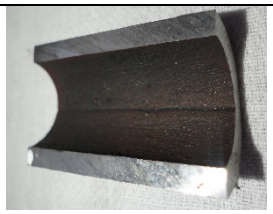
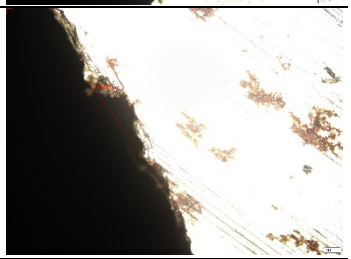
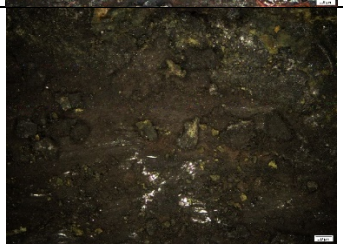
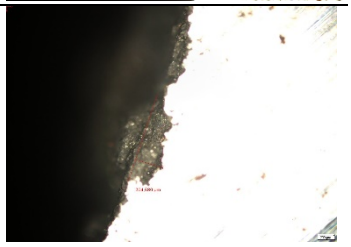
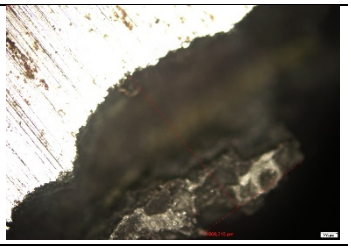
Nivel	Foto Tubería	Foto Microscopio	Foto Perfil
Nivel 0 Escala:200um Profundidad: 37.41um			
Nivel 1 Nivel 1 Escala:200um Profundidad: 217.02um			
Nivel 2 Nivel 2 Escala:200um Profundidad: 304.580um			
Nivel 3 Nivel 3 Escala:200um Profundidad: 1868.215um			

Tabla 2.1: Imágenes de las tuberías en Niveles de Corrosión. **Fuente:** Autores

Para revisar con mayor detalle el perfil de las tuberías corroídas se puede revisar el Anexo 4 en donde están las imágenes ampliadas.

2.3 Conclusiones Parciales

El análisis corrosivo interno nos muestra todo el proceso que va desde la captación de agua, así como de su tratamiento pasando por la presión a la que es utilizado el vapor en prensas y de la influencia que tiene su distribución. Los procesos detallados anteriormente tienen como resultados imágenes de muy buena calidad siempre y cuando se use los filtros del microscopio correctamente. Una imagen de calidad se obtiene con una probeta bien cortada y secada, ya que esto facilita la visión y el modo de toma de la misma, logrando así obtener un corpus de imágenes que garanticen el proceso del programa a ser usado.

3 FUNDAMENTOS DE UN SISTEMA DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Introducción

En este capítulo se describe como se desarrolló el método para análisis de imágenes de tuberías corroídas, para lo cual es necesario revisar algunos conceptos que permitan entender con mayor facilidad los rasgos de una imagen como son el color y sus propiedades (brillo, tono, saturación) además de los modelos que utilizan los software y hardware para la interpretación del color. Los softwares que trabajan con imágenes a más de utilizar los modelos de color utilizan algunas ecuaciones o transformadas que le permiten mejorar la calidad de la imagen (pre y post procesamiento) así como operadores morfológicos que nos ayudan a seleccionar regiones de interés de una imagen lo cual acelera el análisis de la misma. El método desarrollado utiliza las herramientas del software Stream Essentials® para el pre-procesamiento de imágenes es decir mejorar la calidad antes de ser capturada, para luego ser ingresadas en el software Labview® que será el que realice el análisis de la imagen y la descomponga en los rasgos necesarios para identificar el tipo de imagen estudiada.

3.1 Pasos fundamentales en el procesamiento digital de imágenes

La visión artificial lleva asociada una enorme cantidad de conceptos relacionados con hardware, software y también con desarrollos teóricos. Es necesario definir los pasos generales para el procesamiento digital de imágenes en la tabla 3.1.

3.2 Fundamentos del Color

En 1666 Isaac Newton descubrió que cuando un rayo de luz solar (luz blanca) pasa a través de un prisma, la luz solar que emerge de este no es blanca, si no que consiste en un

PASOS PARA EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGENES	
Paso	**Definición**
1. Adquisición	Es el proceso de adquirir una imagen con ayuda de un equipo para captar y digitalizar la imagen (cámara), en caso de que la salida no sea digital se utilizara un convertidor analógico-digital.
2. Pre-procesamiento	Este punto tiene como objetivo mejorar la calidad de la imagen final ya sea utilizando filtros, software etc.
3. Segmentación	Divide la imagen en las partes que la forman o en las que son de interés, es decir se pueden extraer características específicas como contrates y colores bases de una imagen estudiada.
4. Reconocimiento e interpretación	Cuando ya obtuvimos los rasgos de interés de una imagen es necesario convertir estos datos en una forma o formato ideal para el software de análisis de imagen.

Tabla 3.1: Pasos para el procesamiento digital de imágenes. **Fuente: Autores**

espectro continuo de colores que van del rojo y terminan en el violeta. Aunque existen otros colores más que no son detectados por el ojo humano como se observa en la figura 3.1.

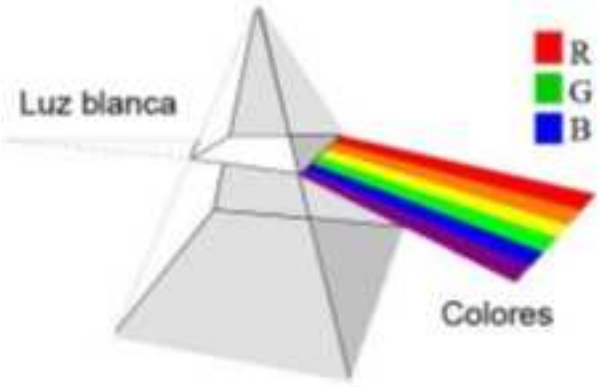


Figura 3.1: Espectro de color al pasar la luz blanca a través de un prisma [7].

El espectro visible que es posible captar para el ojo del ser humano está entre los 380 y 780nm, es importante considerar que la apreciación del color nunca es percibida exactamente igual por dos observadores.

Cada cuerpo o materia existente está constituido por elementos que absorben y reflejan ondas electromagnéticas. Es decir cuando refleja todos los colores del espectro

debidamente balanceados el objeto se percibirá de color blanco, y a su vez cuando el objeto se percibe de color negro es porque este absorbió todas las ondas electromagnéticas y no reflejo ninguna.

3.2.1 Propiedades o Caracterización del Color

Una vez revisada la teoría de la luz y como refleja el color sobre una superficie es necesario definir las propiedades que todo color posee y que la CIE (Comisión Internacional de Iluminación) ha definido y que se pueden revisar en la tabla 3.2

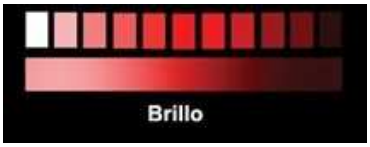
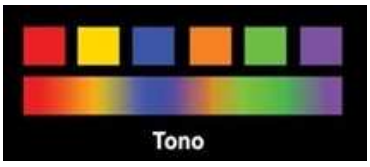
PROPIEDADES DEL COLOR			
Propiedad	**Definición**	**Foto**	**Fuente de la Imagen**
Brillo	Involucra la sensación cromática o intensidad del color. Se relaciona con la percepción de un objeto, cuando es brillante este se encuentra más cerca del observador		www.dimodablog.com
Tono	Se conoce también como matiz, es el color percibido por un observador y se divide en tonos cálidos (rojos, amarillos, anaranjados) y tonos fríos (azul y verde)		www.dimodablog.com
Saturación	Indica la concentración de luz en un objeto, un ejemplo son los colores puros que están completamente saturados		www.dimodablog.com

Tabla 3.2: Propiedades del Color.**Fuente: Autores**

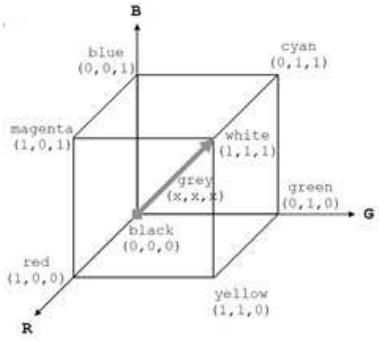
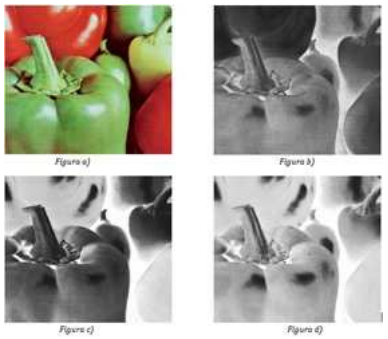
3.2.2 Modelos de Color

Los modelos de color cumplen un propósito el cual es facilitar la especificación normalizada de los colores en un formato estándar, el cual nos ayudará a manipular y ordenar los colores.

El modelo de color es un sistema de coordenadas 3D y un subespacio en el que cada color viene definido por un punto [6]. Existen muchos modelos de color en la actualidad casi todos fueron desarrollados para alguna aplicación específica, pero todos parten de el mismo principio que es la teoría tricromática de colores primarios rojo, verde y azul.

Los modelos de color más aplicados son el modelo RGB (rojo, verde, azul) para monitores y cámaras de video, el modelo CMY (cyan, magenta, amarillo) y el CMYK (cyan, magenta, amarillo, negro) para impresoras en color y pinturas, estos modelos mencionados están orientados a ser utilizados en hardware mientras que el modelo como el HSI (tono, saturación, intensidad) es utilizado para el procesamiento digital de imágenes ya que es el modelo que más se aproxima a la forma en que los humanos perciben el color. Estos modelos serán definidos a continuación en la tabla 3.3

CONSIDERACIONES DE LOS MODELOS DE COLOR

Modelo	Definición	Características	Aplicaciones	Figura
RGB	Basado en los colores primarios, las imágenes se representan en tres planos independientes cada una de un color primario (rojo, verde ,azul)	Basada en tres colores (tricromático), cubo de color No recomendado para algoritmos de procesamiento digital de imágenes	Captura de imágenes (cámaras) Gráficos de ordenador (monitores)	 Fig. Representación del cubo 3D de color RGB [25].
CMY, CMYK	Hace referencia a los colores cyan, amarillo y magenta que son los colores primarios de pigmentos, necesita de una conversión. Al mezclar los tres colores nos entrega el color negro pero de muy mala calidad.	Conversión de imagen RGB a CMY Añade una componente de negro K $\begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$	Impresoras y fotocopiadoras Pinturas	 Fig. a) Imagen en color original, b) Plano C (cyan), c) Plano M (magenta), d) Plano Y (amarillo) [26].

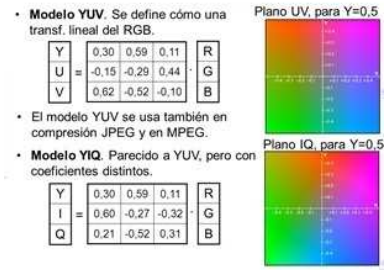
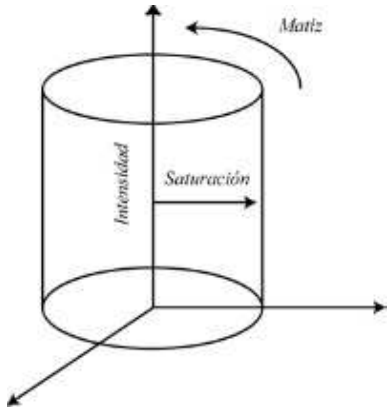
YIQ, YUV	Este modelo se desarrolló considerando la visión humana y la sensibilidad a los cambios de tono y saturación.	Radiodifusión de la señal de televisión Representación cilíndrica	Televisión	 www.slideplayer.es
HSI	Este es el modelo ideal para describir la percepción del color del ojo humano, esta se deriva del cubo de color RGB a través de una transformada y pasa a tener una forma cilíndrica.	Recomendado para algoritmos de procesamiento digital de imágenes Basado en la percepción del ojo humano. $H = \cos^{-1}\frac{[(R-G)+(R-B)]/2}{\sqrt{(R-G)^2+(R-B)(G-B)}}$ $S = 1 - \frac{3}{R+G+B}[min(R,G,B)]$ $I = \frac{R+G+B}{3}$	Sistemas automáticos industriales (maduración de frutas y vegetales, etc) Inspeccionar la calidad de productos coloreados	 Fig. Representación del modelo de color HSI [27].

Tabla 3.3: Consideraciones de los modelos de color. **Fuente:** Autores

3.2.3 Formatos de ficheros de imágenes

Para poder manejar un archivo de imagen es necesario definir los ficheros que almacenan los datos de archivo de una imagen para que estos datos sean legibles en el programa o tipo de programa que la creo. Estos modos de imagen pueden ser de mapa de bits y de imagen vectorial, dependiendo de que para que se quiera utilizar la imagen, para ello es necesario primeramente conocer cómo funcionan estos modos de imagen.

3.2.3.1 Imágenes de Mapa de Bits

Estas imágenes también conocidas como bitmaps o imágenes raster, están formadas por celdas conocidas como pixeles donde cada uno de estos tiene asignado un valor de color y luminancia propios. Al momento que vemos todo el conjunto de pixeles tenemos la ilusión de percepción de una imagen continua.

Figura 3.2: Representación de los pixeles en una imagen [8].

3.2.3.2 Imágenes Vectoriales

Las imágenes clasificadas aquí son orientadas a objetos, son mucho más pequeñas que las de mapa de bits, esto se debe a que la forma en que organiza los datos o genera la imagen, lo realiza mediante trazos geométricos determinados por cálculos y fórmulas matemáticas. Este tipo de imágenes son muy utilizados en el diseño de iconos y logotipos, además de la manipulación de fuentes de texto; ya que en las imágenes vectoriales cada vector tiene una linea de contorno, con un color y grosor determinados, y a su vez con un color propio de relleno [28]. Es por esto que estas características pueden ser manipuladas independientemente del pixel, además si se decide reducir o aumentar la resolución de la imagen, esta no perderá la resolución original.

Figura 3.3: Representación de una imagen vectorial [9].

La mayoría de los formatos existente fueron creados por las propias empresas que desarrollaron softwares de aplicación, aunque algunos son resultado del intento de normalizar los formatos de imagen, todo esto fue impulsado por el desarrollo del internet para cualquier tarea cotidiana, es por eso que si una imagen es creada en un sistema operativo especifico (Windows) está también podrá ser leído en diferentes sistemas operativos. Para revisar y considerar todos los formatos de archivo de una imagen es necesario tabularlos como se presenta en la tabla 3.4.

Para el análisis de nuestras imágenes se mantendrá el formato entregado por el software del microscopio que es .vsi, este tipo de extensión nos permité almacenar las imágenes en alta resolución sin necesidad de comprimir el formato para procesar la imagen que pondría en riesgo perdidá de información [29].

3.3 Transformación de Imágenes

La teoría de las transformaciones ha jugado y juega un papel fundamental en el procesamiento de imágenes por su descripción alternativa de una imagen y por ser una herramienta para realizar operaciones como la resolución de ecuaciones lineales. Esto es muy importante ya que la aplicación de este campo incluye las mejoras de restauración, codificación, mejora, segmentación, etc [26].

Tabla 3.4: Consideraciones de los modelos de color. **Fuente:** Autores

FORMATO DE FICHEROS DE IMAGENES				
Tipo de Archivo	**Características**	**Modelo de color**	**Profundidad de color**	**Aplicaciones**
GIF (Graphics Interchange Format) .gif	Creado por eCompuServe Gráficos de color indexados (Áreas grandes de un mismo color) Ideal para animaciones Diseñado para la transmisión de datos por las líneas telefónicas	Escala de grises RGB Color indexado Mapa de bits	8 bits (256 colores)	Uso en el Internet Multimedia
TIFF (Tagged Image File Format) .tif, .tiff	Ideal para la autoedición y tratamiento de imágenes Creado por Aldus Corporation Suele perder información cuando lo transforman a otro formato	Color indexado RGB Escala de grises Mapa de bits	32 bits	Imprenta Scaner Compatible con IBM PC y Mac
BMP (Windows Bitmap) .bmp	Utilizado para aplicaciones de Microsoft Windows Los archivos son grandes (no se pueden comprimir)	RGB Color indexado Escala de grises Mapa de bits	1 bit: blanco y negro 4-8 bits: Escala de grises 8 bits: Color indexado 24 bits: color RGB	Fondo de escritorio (imágenes hasta 256 colores)
JPEG (Joint Photographic Expert Group) .jpg, .jpeg	Almacenar imagines de tono continuo Reduce el tamaño de los archivos sin perder información	Escala de grises RGB CMYK	24 bits	Internet (gráficos, fotografías) Cámaras digitales Scaners
PNG (Portable Network Graphics) .png	Soporta la reducción de tamaño sin perder calidad. No está limitado a los 256 colores No puede crear ficheros animados	RGB Escala de grises Color indexado Mapa de bits	24bits	Internet Graficos multimedia
PSD (Photoshop) .psd	Permite crear y tratar las imágenes Creado por Adobe Photoshop	Todos los modos de color	32 bits	Impresoras normales y de papel fotográfico

3.3.1 Transformada de Fourier

Joseph Fourier a finales del siglo XIX plantea que toda función periódica puede ser expresada como una suma infinita de senos y cosenos a distintas frecuencias [30], amplitudes y fases según sea la complejidad de la imagen, es por eso que es muy importante para el procesamiento digital de imágenes la cual es utilizada para descomponer una imagen, pero a costa de que se pierda información temporalmente. Esta transformada nos permité trabajar sobres los dominios de frecuencia de una imagen (funciones seno y coseno), ya que hasta ahora solo hemos revisado el dominio espacial que trabaja directamente con los colores de nivel de gris y con las relaciones posicionales de los pixeles. En el desarrollo de este programa en el Software Labview® está inscrito la utilización de la transformada de Fourier aunque no se pueda apreciar directamente la aplicación de la misma es por eso que es necesario revisar la teoría de la misma en la tabla 3.5

3.4 Morfología Matemática de Imágenes

La morfología matemática de una imagen se basa la teoría de conjuntos (forma, geometría), las imágenes se representan por un conjunto de formas de los objetos contenidos en una imagen binaria, mediante la utilización de un conjunto conocido como elemento estructurante "EE". Es decir las operaciones morfológicas simplifican las imágenes y conservan las más importantes características de formas de los objetos. Las formas de los elementos estructurantes se escogen de acuerdo a la morfología del conjunto sobre el que va a actuar, existen muchas tamaños y formas como se puede observar en la figura 3.4, al desplazar el "EE" como un patrón sobre la imagen este la analizara en el primer plano y en el fondo de la misma, figura 3.5.

Es por eso que esta es muy importante en la visión artificial y el procesamiento de imágenes ya que nos permité identificar y descomponer objetos así como extraer datos de defectos, rasgos, etc. Pero también tiene otros usos como:

- Descripción cualitativa de objetos (área, perímetros, etc.)
- Pre-procesamiento de imágenes (supresión de ruido, simplificación de formas, etc.)
- Estructura de objetos (ampliación, reducción, etc.)

TRANSFORMADA DE FOURIER

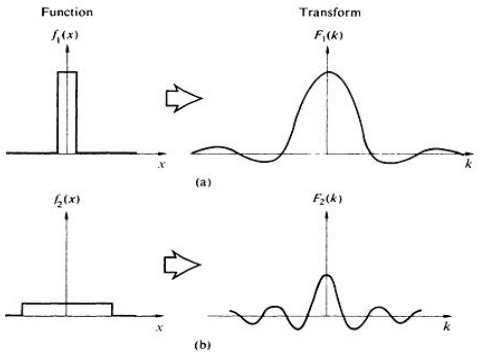
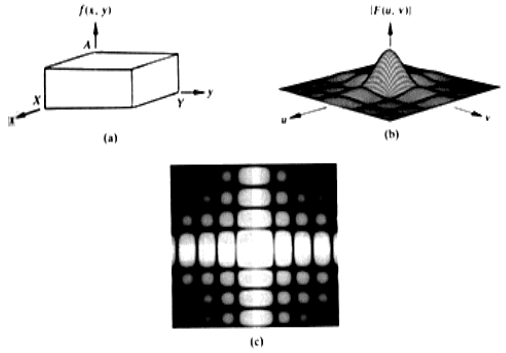
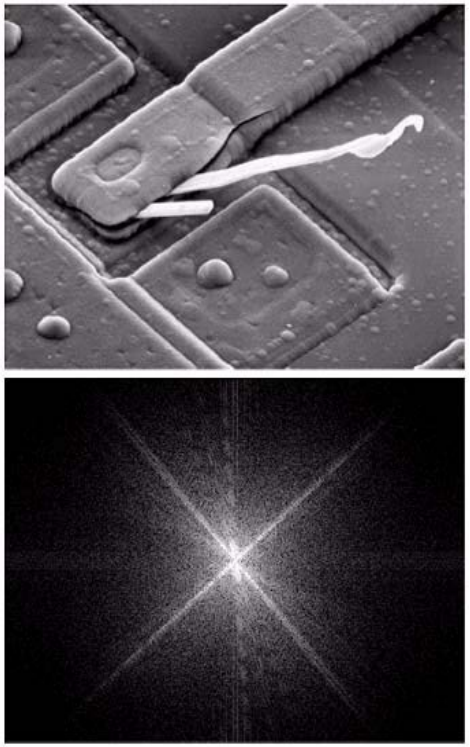
Tipo de Transformada	**Ecuación**	Imagen
Transformada de una sola Variable j es la raíz cuadrada de (-1) y u es la variable de frecuencia	$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-j2\pi ux}dx$	
Transformada de Fourier Inversa	$f(x) = F(u)e^{j2\pi ux}du$	
		Transformada de Fourier unidimensional.
Transformada de Fourier Bidimensional	$F(u,v) = \iint_{\infty} f(x,y)e^{-j2\pi(ux+uy)}dxdy$	
Transformada de Fourier Inversa Bidimensional	$f(x,y) = \iint_{\infty} F(u,v)e^{j2\pi(ux+uy)}dudv$	
		a) Función bidimensional b) Transformada de Fourier c) Función de Intensidad.

Tabla 3.5: Ecuaciones de la Transformada de Fourier [12], [13] y [14].

Transformada de Fourier Discreta Es necesario para crear matrices donde se pueda calcular convuloción y correlaciones. *Donde **u** tiende desde (u=0, 1, 2,……., M-1) y **v** tiende desde (v=0, 1, 2,……, N-1)*	$F(u,v) = \frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x,y)e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M}+\frac{uy}{N}\right)}$	
Transformada de Fourier Discreta Inversa *Donde **x** tiende desde (x=0, 1, 2,……., M-1), y a su vez **y** tiende desde (v=0, 1, 2,……, N-1)* También hay que considerar que ***u*** y ***v*** son las variables de transferencia o frecuencia, y las variables ***x*** e ***y*** son espaciales o de imagen.	$f(x,y) = \frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} F(u,v)e^{j2\pi\left(\frac{ux}{M}+\frac{uy}{N}\right)}$	*Imagen de circuito y su espectro de Fourier.*

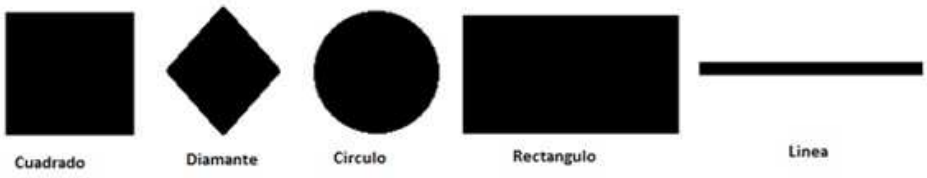


Figura 3.4: Formas de elementos estructurante EE. **Fuente:** Autores

Figura 3.5: Análisis de un EE sobre una imagen. **Fuente:** Autores

3.4.1 Operadores básicos morfológicos

Las operaciones básicas de la morfología matemática son la dilatación, erosión, apertura y cierre.

Dilatación: Aquí obtenemos como resultado una imagen binaria en niveles de grises, además esta rellena las entrantes o lugares en las que no quepa el EE figura 3.6 por eso se lo llama un proceso extensivo, ya que aumenta el tamaño de una imagen, la ecuación se escribe como el conjunto de puntos de origen del EE Y, tales que el EE contiene algún elemento del conjunto X, cuando este se desplaza por el espacio que contiene ambos conjuntos, entonces la ecuación se denota

$$\delta_Y(x) = \{|Y_X \cap X \neq 0\} \tag{3.1}$$

Erosión: Este es un operador muy importante ya que nos permité eliminar grupos de pixeles en donde el EE no cabe figura 3.7, es decir reduce el tamaño de una imagen por lo que es anti extensiva. Se la puede utilizar en aplicaciones como filtros donde se disgrega detalles irrelevantes o que no queremos considerar. Es decir la erosión es el resultado de comprobar si el EE Y está totalmente incluido dentro del conjunto X. Cuando esto no ocurre el resultado es un conjunto vacío, la expresión queda.

$$\varepsilon_Y(x) = \{x|Y_X \subseteq X\} \tag{3.2}$$

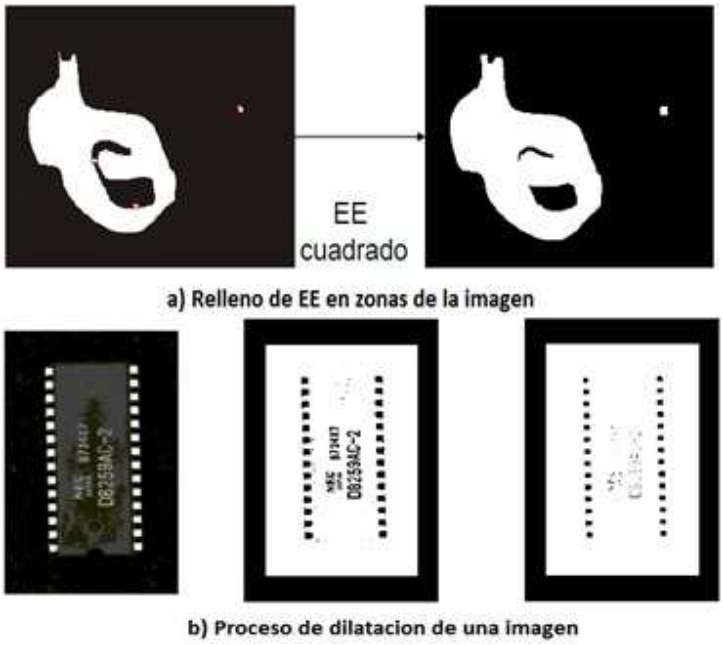


Figura 3.6: Dilatación de una imagen [10].

La expresión se lee como el conjunto de elementos x, pertenecientes a X¸ de forma que cuando el EE Y se traslada a ese punto, el elemento queda excluido en X [10].

Figura 3.7: Erosión de una imagen [10].

Apertura: Tiene las características de alisar los contornos interiores donde no quepa el EE, es decir elimina las salientes o lugares donde no quepa el EE, se puede decir que se obtiene después de desplazar el EE dentro de un conjunto y al mismo tiempo eliminado zonas donde no pueda entrar figura 3.8.

La apertura de una señal f por un EE Y se describe por $\gamma_Y(f)$ y es la definición de la erosión de f por Y, seguida de una dilatación por el mismo EE como se escribe a continuación.

$$\gamma_Y = \delta_Y(\varepsilon_Y(f)) \tag{3.3}$$

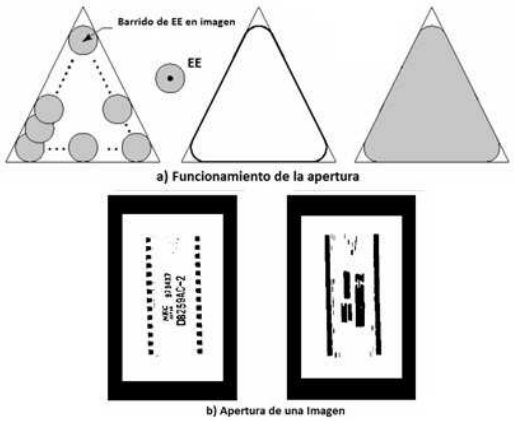


Figura 3.8: Apertura de una imagen [10].

Cierre: Este operador tiende a suavizar los lugares del contorno del conjunto figura 3.9, donde no entre el EE, además rellena vacíos en el contorno y agujeros pequeños. El cierre de una señal f por un EE Y se describe por $\varphi_Y(f)$ y es la definición de la dilatación de f por Y, seguida de la erosión por el mismo EE como se denota a continuación.

$$\varphi_Y = \varepsilon_Y(\delta_Y(f)) \tag{3.4}$$

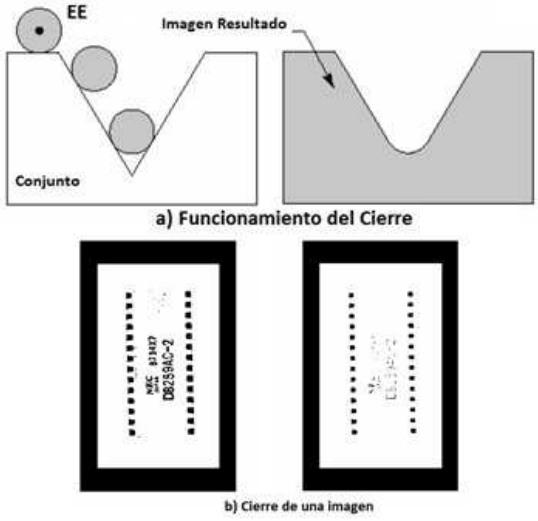


Figura 3.9: Cierre de una imagen [10].

3.5 Metodología Experimental Para el Desarrollo del Programa

El proceso de adquisición de la tubería para obtener las probetas así como el de la captura de la imagen fueron definidos en el Capítulo 2 dentro de los cuales se revisó las condiciones que debía cumplir una probeta y las herramientas que se utilizaron para el pre-procesamiento de la imagen; al final se obtuvieron una distribución del corpus de imágenes tal como se puede apreciar en la tabla 3.6.

IMÁGENES CAPTURADAS		
Nivel	**Numero de Muestras**	**Numero de Imágenes**
Nivel 0	12	72
Nivel 1	16	95
Nivel 2	12	91
Nivel 3	3	28
Total	43	286

Tabla 3.6: Distribución de Muestras e Imágenes Capturadas. **Fuente:** Autores

El corpus tiene abierta la opción para cargar más archivos y crear un corpus más completo de imágenes de tuberías corroídas por vapor. Una vez que las imágenes fueron capturadas en el Microscopio BX51M con ayuda del software Stream Essentials®, no se utiliza ninguna técnica de post-procesamiento de la imagen, siendo las mismas procesadas en el programa Labview®.

Para el desarrollo del programa de Determinación del nivel de Corrosión mediante el Procesamiento Digital de Imágenes se necesitó identificar todas las variables de medición de textura y de color, para luego crear la base de datos anexada a cada imagen y desarrollar el programa.

Para los análisis de textura se utilizó el GLCM con 7 atributos o medidas de textura:

- Pico
- Entropía
- Disimilitud
- Energía
- Homogeneidad
- Contraste
- Correlación

La GLCM se basa en estadísticas de 2do orden, es un histograma de los niveles de grises entre un pixel de referencia y un pixel vecino, pero es necesario definir las formas de medir textura en una imagen que pueden ser estadísticas de Primer, Segundo y Tercer Orden.

- **Primer Orden:** Estas medidas no consideran la relación entre pixeles y para ser calculadas se basan a partir de los valores de grises originales de la imagen y su frecuencia como la media, varianza y la desviación estándar.
- **Segundo Orden:** Aquí ya se considera la relación de co-ocurrencia entre grupos de dos pixeles de la imagen original y a una distancia dada.
- **Tercer Orden:** Se considera la relación entre tres o más pixeles, este cálculo es posible pero no es muy utilizado ya que requiere de mucho tiempo de cálculo y los resultados son de difícil interpretación.

Entonces se utilizó la GLCM con estadísticas de segundo orden y las ecuaciones más importantes son las del contraste, la correlación, la energía, y homogeneidad a los cuales se les atribuye las ecuaciones siguientes:

$$Contraste = \sum_{k} k^2 \sum_{i} \sum_{j} S(i,j) \tag{3.5}$$

$$Correlacion = \sum_{i,j} \frac{ijS(i,j) - u_i u_j}{\sigma_i \sigma_j} \tag{3.6}$$

$$Energia = \sum_{i,j} S^2(i,j) \tag{3.7}$$

$$Homogenidad = \sum_{i,j} \frac{S(i,j)}{1 + (i-j)^2} \tag{3.8}$$

La distribución de intensidad de nivel de gris de una imagen se basa en el supuesto de que la información de la textura está contenida en la relación espacial entre las intensidades de un píxel y su vecino, la relación espacial entre un pixel de referencia y un pixel vecino puede ser en cualquiera de las 8 direcciones (N, S, E, O, NE, NO, SE, SO), pero solo se consideran cuatro ya que se considera una matriz simétrica es decir N. NE, E y SE y las demás se consideran sus opuestas.

Esta información se condensa en el GLCM. La distribución de la intensidad del nivel de gris puede especificarse por una matriz de frecuencias relativa, en el que dos vecinos elementos de textura etiquetados i y j, separadas por una distancia d en una orientación q, se producen en la imagen, y que uno tiene la propiedad i y otro la propiedad j.

La matriz S representa el GLCM y el índice k denota el tamaño del GLCM menos uno cada vez y los parámetros u_i, u_j, σ_i y σ_j en la ecuación de la correlación representan, respectivamente el valor de la media y de la desviación estándar de la línea i y la columna j del GLCM [5].

El contraste mide la intensidad de disimilitud entre un píxel y su vecino sobre toda la imagen. La correlación representa cómo un píxel está relacionada con su vecino más cercano de la imagen completa. La energía es la suma de cuadrados de los elementos en GLCM, también conocida como la uniformidad de la energía, y la homogeneidad representa la similitud entre los valores de nivel de gris de la imagen píxeles.

La homogeneidad y contraste identifican las estructuras organizadas en la imagen. La energía y correlación caracterizan la complejidad y naturaleza de las transiciones niveladas en escala de grises en la imagen. Aunque estos atributos contienen la información sobre la textura de la imagen, es difícil identificar la característica específica de la textura que se representa por cada atributo. Pero, la información se puede guardar para que los atributos de la textura puedan ser utilizados luego en la base de datos de rasgos para el proceso de la clasificación de imágenes.

Para el análisis del color se utilizó el sistema HSI que constituye un modelo que describe mejor cómo los seres humanos naturalmente responden al color. Por lo tanto este es el espacio adecuado para este propósito; el color, la saturación y la intensidad se obtienen de los tres canales de color RGB (rojo, verde, negro) usando las siguientes transformaciones que fueron ya citadas anteriormente:

$$H = \cos^{-1} \frac{[(R-G)+(R-B)]/2}{\sqrt{(R-G)^2+(R-B)(G-B)}} \tag{3.9}$$

$$S = 1 - \frac{3}{R+G+B}[min(R,G,B)] \tag{3.10}$$

$$I = \frac{R+G+B}{3} \tag{3.11}$$

El color (H) es proporcional a la frecuencia de color, para una superficie corroída, se encuentra entre el amarillo y las longitudes de onda rojas.

La saturación (S) se refiere al dominio de la tonalidad en el color, una superficie corroída es normalmente más saturado que otras áreas porque la superficie metálica es a menudo pintado en colores claros como el gris y el blanco. La intensidad (I) describe la fuerza de la luz. Como se ha explicado antes, el color de la superficie no corroída tiende la longitud de onda blanco (alta intensidad).

Los atributos de color son obtenidos mediante el análisis de momentos estadísticos, cada uno de estos momentos proporciona un resultado diferente.

El primer momento indica donde generalmente queda el color individual en el espacio del color HSI.

$$E(X) = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} x_n \tag{3.12}$$

El segundo momento incorpora la información de la extensión o escala en la distribución de color. Este también considera que las superficies no corroídas son homogéneas y eso implica una baja variación del color.

$$E((X - E(X))^2) = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(x_n - E(X))^2 \tag{3.13}$$

El tercer momento mide la asimetría de los datos alrededor de la media de la muestra e indica cuando los valores de HSI quedan hacia al máximo o al mínimo de la escala.

$$E((X - E(X))^3) = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(x_n - E(X))^3 \tag{3.14}$$

El cuarto momento mide el pico o el valle de todos los valores de la distribución del color.

$$E((X - E(X))^4) = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(x_n - E(X))^4 \tag{3.15}$$

Las imágenes utilizadas como se explicó en el capítulo 2 fueron seleccionadas y clasificadas en cuatro niveles de corrosión como se observa en la figura 3.10, estas serán

sometidas a los análisis de textura y de color.

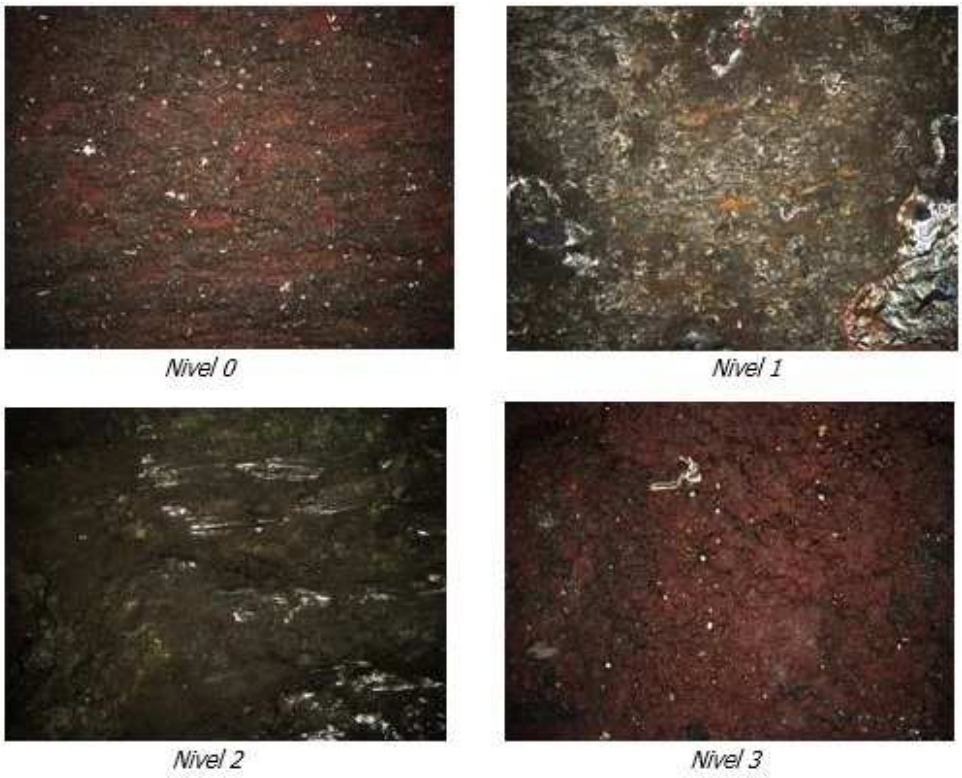


Figura 3.10: Clasificación de los niveles de corrosión. **Fuente:** Autores

Al final ambos análisis entregan 19 medidas o características particulares o propias de cada imagen. Entonces el diagrama de flujo del análisis de imágenes para crear la base de datos queda expresado de la siguiente manera en la figura 3.11.

Figura 3.11: Diagrama de flujo para el análisis de Imágenes. **Fuente:** Autores

Al momento de ingresar una imagen a evaluación, el clasificador analizará cada una de estas 19 dimensiones y entregará un resultado o clasificación de la imagen analizando el vecino más cercano, el número de vecinos a ser analizados depende de la configuración es decir de cuantos vecinos le ordenamos que analice. Esto se muestra en el diagrama de flujo de la figura 3.12.

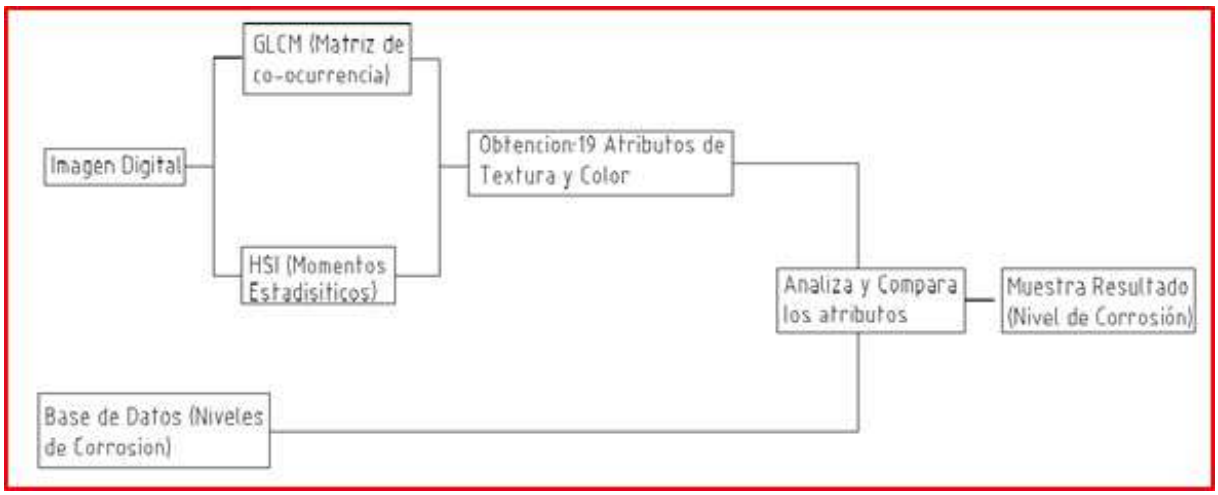


Figura 3.12: Diagrama de flujo para Determinar el nivel de Corrosión. **Fuente:** Autores

Para garantizar los resultados de los análisis es necesario someter al clasificador a una evaluación, es decir medir el nivel de concordancia de las clases asignadas a las imágenes mediante la matriz de confusión que es la herramienta ideal para evaluar un Clasificador de Imágenes; aquí se evalúa si la clasificación de las imágenes en sus respectivos niveles es correcta, se realiza mediante el análisis de la propia base de datos utilizando los datos recolectados en el entrenamiento del programa y cruzándolos con los datos de resultado de los análisis. Esto muestra si alguna clasificación o resultado es incorrecto. A esta matriz de confusión también se la conoce como matriz de error o contingencia, esta es una matriz cuadrada de nxn donde n es el número de niveles que tenemos en el estudio. En las columnas se ubican los datos que corresponden a los datos de referencia es decir de la clasificación de las imágenes en la base de datos, y las filas corresponden a las que fueron asignadas por el clasificador. La matriz queda expresada como se muestra en la figura 3.13

En la matriz se lee lo siguiente, si la coordenada de las x coincide con la de y en la ubicación de los niveles, la clasificación de la imagen es correcta; pero si no es igual se lee para el caso del valor **1** ubicado en la coordenada $\boldsymbol{x}$ (OBJETIVO NIVEL 3) y (SALIDA NIVEL 1), nos dice que existe una imagen de Nivel 1 clasificada o ubicada como Nivel 3.

Figura 3.13: Matriz de confusión para evaluar el Clasificador. **Fuente:** Autores

3.6 Programa de Determinación del Nivel de Corrosión Mediante el Procesamiento Digital de Imágenes

Se utiliza el Software Labview® el cual se define como un programa que permité el desarrollo de aplicaciones de instrumentos virtuales (VI´s- Virtual Instrument), entre algunas de las características más importantes es que se puede crear subrutinas en módulos de bloques o usar otros bloques creados anteriormente, además de que se basa en una programación grafica llamada lenguaje "G". Esto permité que se puedan crear programas complejos imposibles de crear en lenguajes tradicionales.

Panel Frontal.- Es la forma final del programa figura 3.14 (lo que se observa en la pantalla), aquí se definen los controles o indicadores que se visualizan.

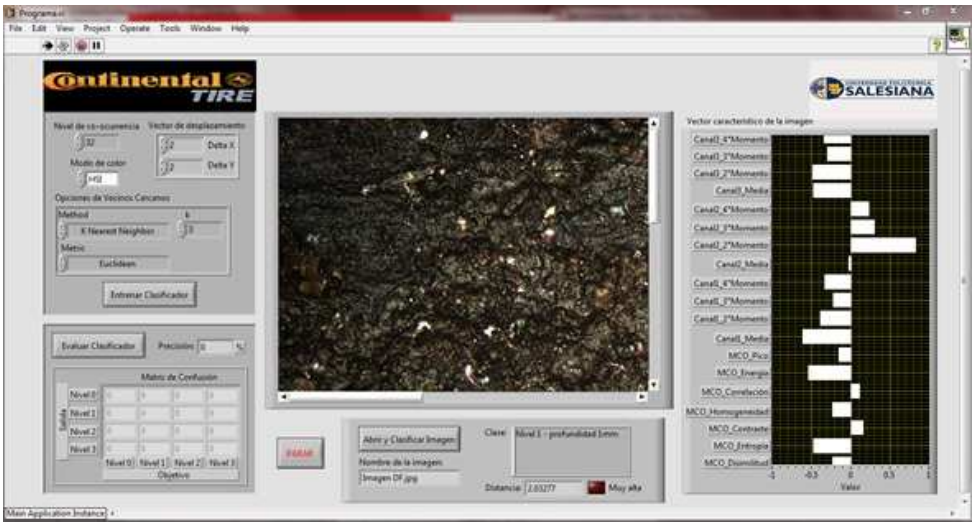


Figura 3.14: Panel frontal (Pantalla). **Fuente:** Autores

Lo primero es iniciar el programa dando el botón de inicio . y empezar a configurar las opciones del programa

El primer bloque del panel frontal figura 3.15 permité definir los parámetros con los cuales se va a analizar la imagen, tal como el nivel de co-ocurrencia (GLCM) específicamente el número de cuadros o ventanas en que se va descomponer una imagen y el vector de desplazamiento de la misma, igualmente se puede seleccionar el método de análisis de modo de color, el que se utiliza es HSI, pero tiene abierta la opción para seleccionar otros modo de color como el RGB, HSL, HSV.

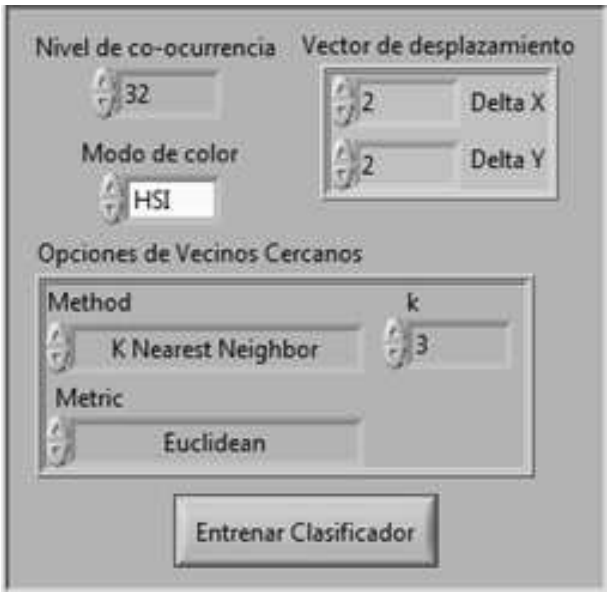


Figura 3.15: Bloque de selección de parámetros para el análisis de una imagen. **Fuente:** Autores

Además de esto se configura la opción con la que va a comparar todas las imágenes nuevas con la base de datos es decir el método de análisis de los vecinos cercanos, el recomendado para este estudio es el método de los K-vecinos más cercanos, donde el valor k es el número de vecinos que va a analizar, si se carga un valor mayor por ende el análisis del mismo tardara unos momentos más ya que analizara un campo mayor, se selecciona una medida euclidiana ya que es similar a una distancia ordinaria en una escala determinada. Las opciones para el método de análisis de los vecinos cercanos también es abierta y se puede elegir Nearest Neigboard y Minimum mean Distance¸igualmente la forma de medida de esta distancia que puede ser Maximun o Sum.

Una vez definidas todas las condiciones de análisis se debe entrenar el clasificador Entrenar Clasificador, la cual nos llevara a seleccionar una carpeta figura 3.16 donde tenemos las imágenes clasificadas, esta dirección ya está programada y la encuentra por default, luego

se selecciona la carpeta Imágenes de Entrenamiento y se da click en el botón de la ventana Seleccionar Carpeta.

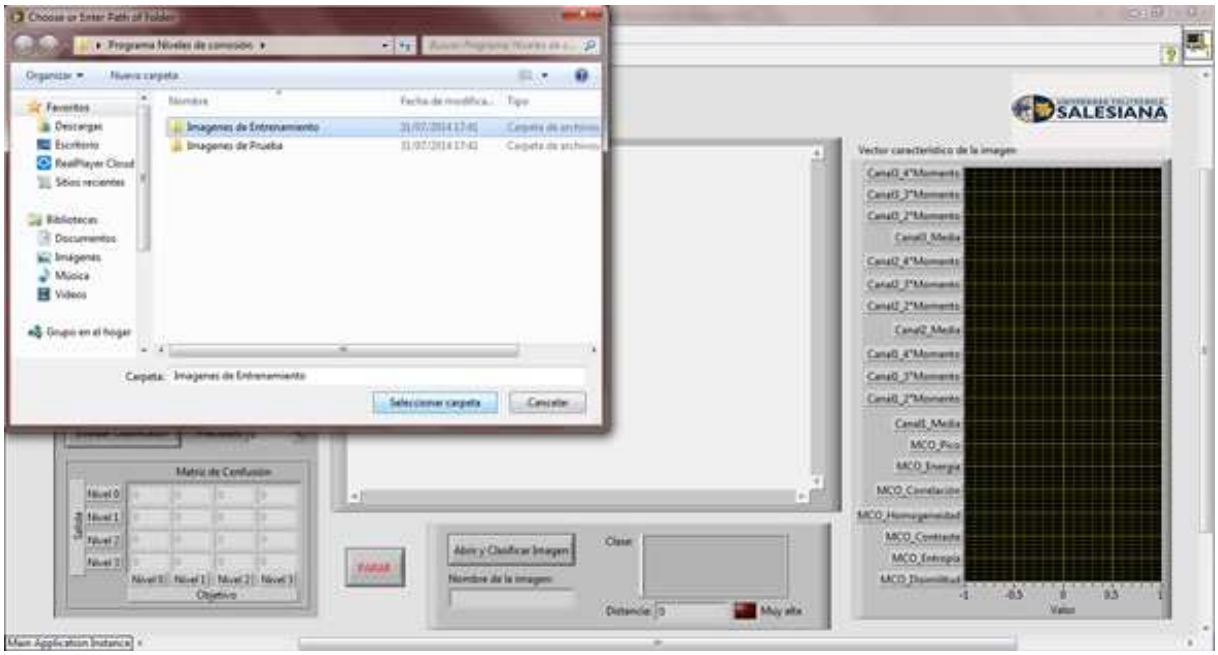


Figura 3.16: Entrenamiento del Programa. **Fuente:** Autores

Luego de algunos momentos nos envía un mensaje de aviso, si es que el entrenamiento fue realizado correctamente figura 3.17

Figura 3.17: Aviso del Entrenamiento del Programa. **Fuente:** Autores

Lo siguiente es revisar el funcionamiento del programa figura 3.18, para lo cual es necesario hacer click en el siguiente bloque del programa que va a analizar una imagen de prueba y comprobara con la base de datos de imágenes entrenada para arrojarnos un resultado.

En este bloque está programado una opción la cual nos muestra el nombre de la imagen o archivo que esta seleccionado para el análisis figura 3.19; en la parte de clase arroja el resultado del nivel de corrosión al que pertenece y por último en el espacio de distancia nos muestra la distancia euclidiana a la que se encuentra la imagen del centro

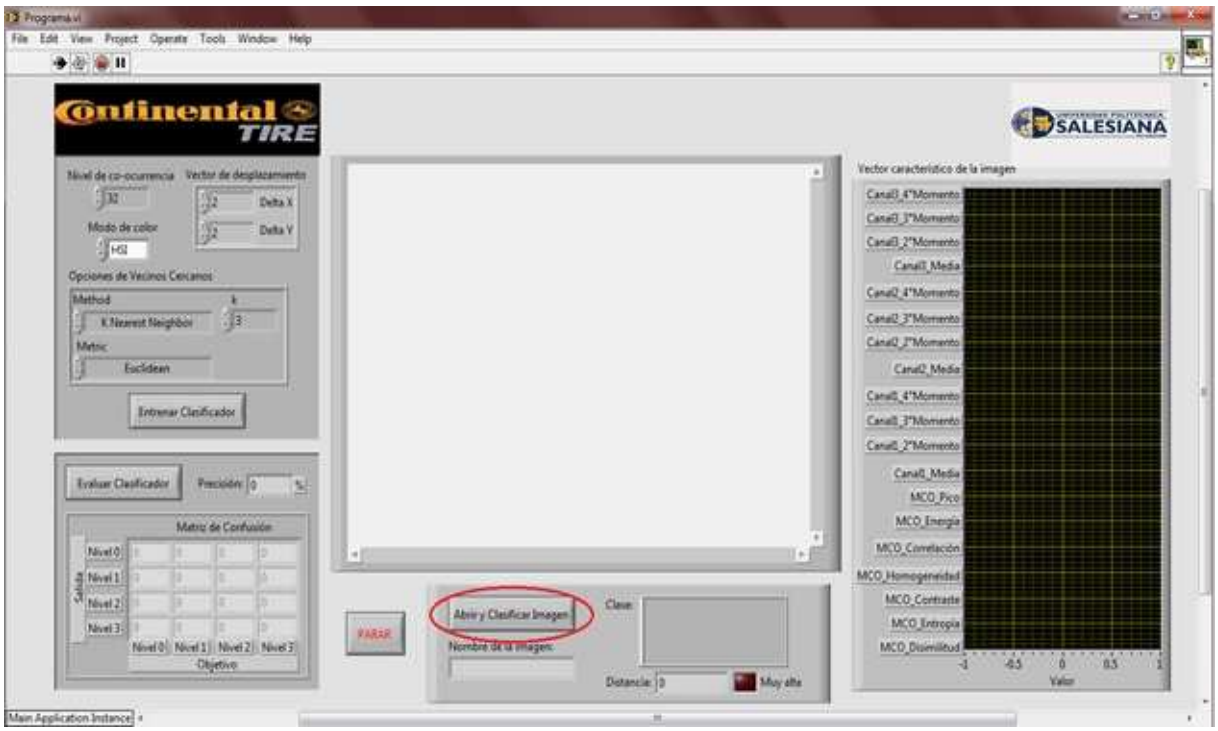


Figura 3.18: Inicio de pruebas en el Programa. **Fuente:** Autores

del nivel de corrosión que mostro como resultado figura 3.20, si está muy alta o es una imagen que no tiene relación con las que está analizando se enciende la luz de advertencia MUY ALTA figura 3.21 lo cual indica que no es posible clasificar dicha imagen.

Figura 3.19: Bloque de visualización del resultado. **Fuente:** Autores

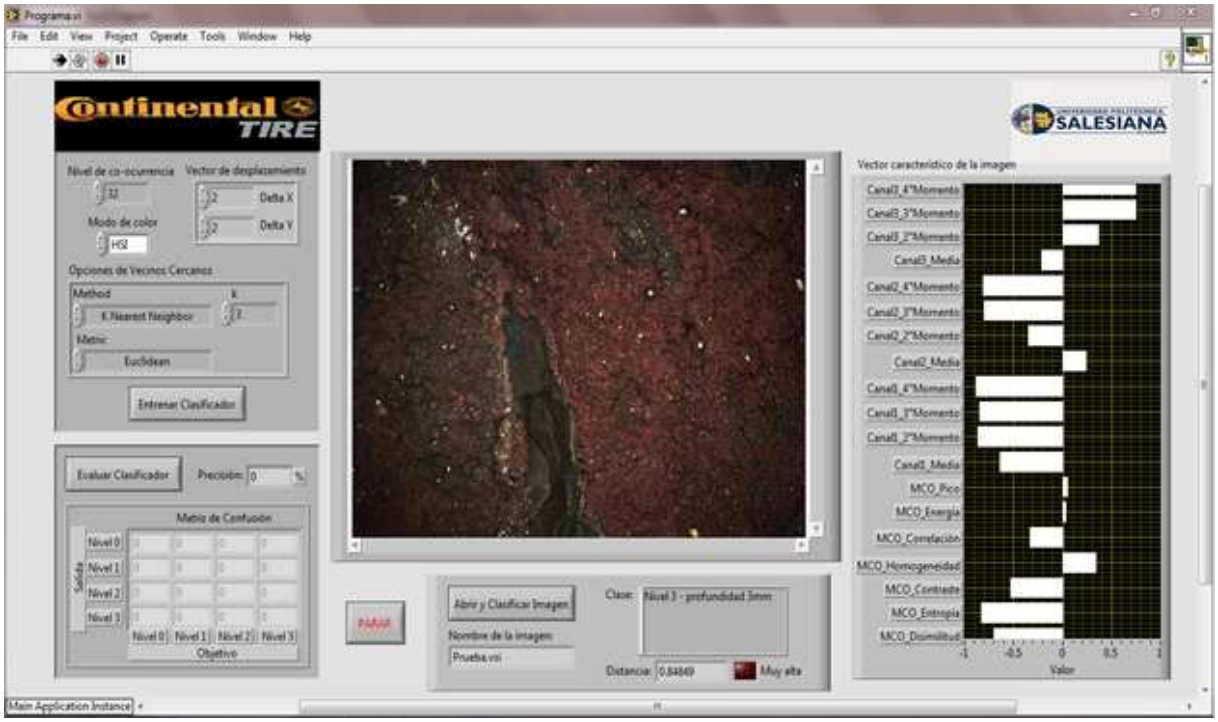


Figura 3.20: Prueba con imagen de tubería corroída. **Fuente:** Autores

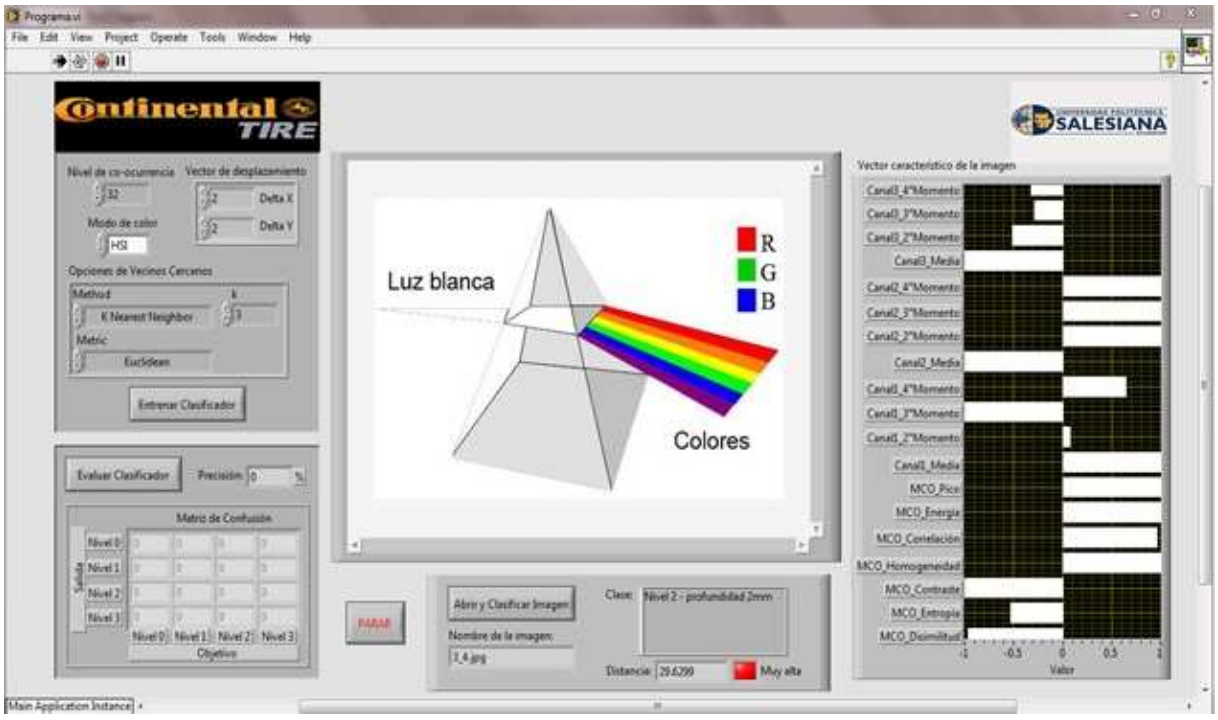


Figura 3.21: Prueba con imagen no correspondiente a tubería. **Fuente:** Autores

Como se observa en la figura 3.20 se clasifico la imagen correctamente arrojando el resultado del nivel al que pertenece; en la figura 3.21, se realiza una prueba y se evaluó el programa eligiendo una imagen que no corresponde a la base de datos entrenada, el resultado que arroja es el nivel al que se encuentra más próximo y la distancia a la que se encuentra del centro de este nivel, durante el desarrollo de pruebas se introdujo un valor de 3 como valor máximo de distancia para ser clasificada caso contrario se enciende la alarma de distancia MUY ALTA (imposible clasificar). Para entender el comportamiento de los 19 se normalizo los valores de -1 a 1 con una función scale, lo cual ayuda a entender con mayor facilidad cuales son las características propias de cada imagen figura 3.22

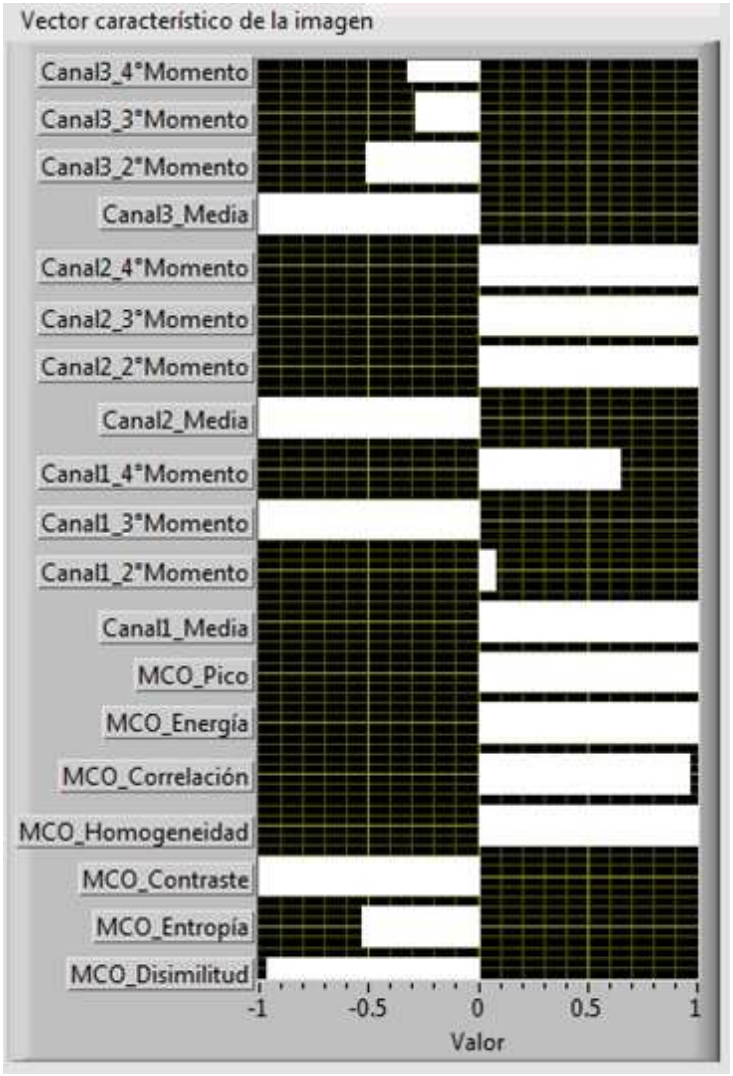


Figura 3.22: Prueba con imagen de tubería corroída. **Fuente:** Autores

Para garantizar que la clasificación de las imágenes para entrenar al Clasificador haya sido correcta así como del resultado de la clasificación de una imagen nueva, es necesario someter al clasificador a una prueba para lo cual se programó la matriz de confusión figura 3.23

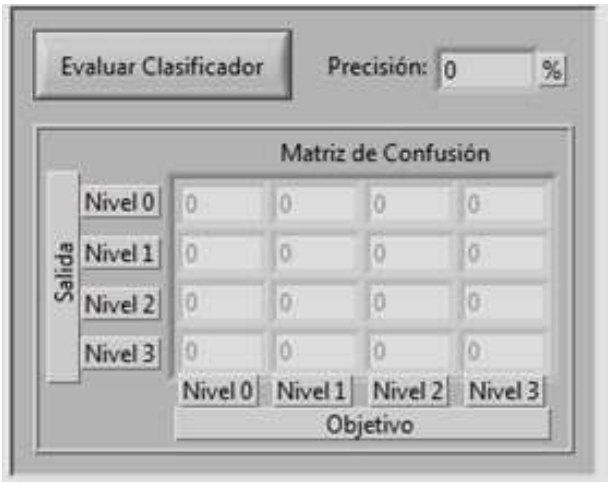
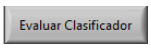


Figura 3.23: Matriz de confusión. **Fuente:** Autores

Para iniciar el evaluador clic en  el cual arroja la siguiente ventana figura 3.24.

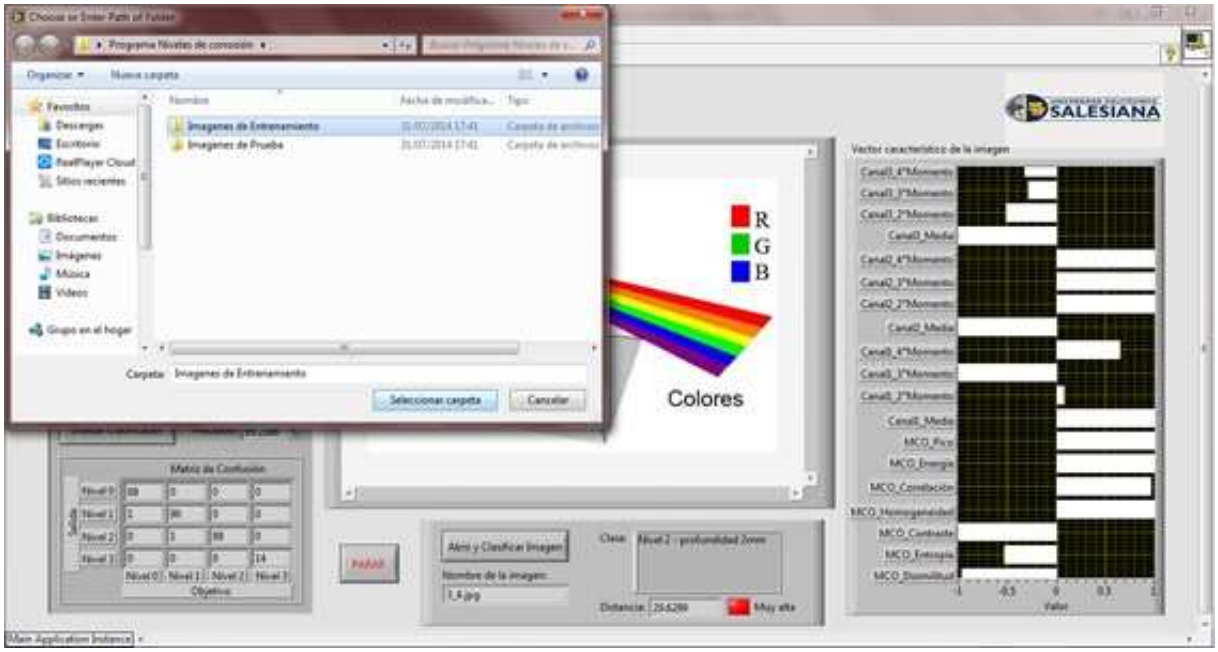


Figura 3.24: Evaluación de Imágenes en la Matriz de confusión. **Fuente:** Autores

Enseguida se puede revisar el resultado mostrado en pantalla, lo cual nos permité encontrar en donde está el error de clasificación. figura 3.26.

El resultado mostrado en la figura 3.26 explica que hay una imagen que es de Nivel 0 clasificada como Nivel 1, y otra que es de Nivel 1 clasificada como nivel 2, esto nos entrega un porcentaje de precisión del 92.2366% que es muy aceptable para el Clasificador; con estos resultados se puede volver a revisar las imágenes mal clasificadas en los Niveles de Corrosión y a su vez corregir el problema y elevar la precisión al 100%.

Figura 3.25: Mensaje de Evaluación terminada de la Matriz de confusión. **Fuente:** Autores

Figura 3.26: Resultado de la Evaluación en la Matriz de confusión. **Fuente:** Autores

Por último es importante recordar que a un programa terminado se le puede eliminar la parte de los diagramas de bloques para evitar que este sea editado o copiado lo cual no afecta al funcionamiento, las líneas de códigos del programa se la puede revisar en el Anexo 5.

3.7 Conclusiones Parciales

Se revisó todos los parámetros que son necesarios conocer para entender cómo se realiza el procesamiento digital de imágenes tanto de sus fundamentos, modelos y formatos de ficheros. También se analizó cuáles son las principales funciones para la transformación y tratamiento de imágenes los cuales están incluidos en Labview®, con el método planteado luego de realizar pruebas el programa muestra resultados confiables ya que se somete a sí mismo a una verificación.

4 REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DEL NIVEL DE CORROSIÓN

Introducción

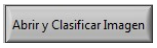
En el capítulo final se analizaron los resultados de las probetas obtenidas a partir de un procesamiento digital de imágenes mediante el programa Labview®, el cual nos permite clasificar el nivel de corrosión de la probeta, presentándonos como resultados los valores de la profundidad de corrosión, distancia al centro del nivel más cercano, el comportamiento de las 19 variables y el nivel de corrosión en el que se encuentra de acuerdo a la clasificación de nuestro corpus de imágenes. Los resultados que se presentan a continuación son tomados de probetas de diferentes sectores dentro de la línea de tubería de la empresa, clasificados en niveles desde cero hasta tres.

4.1 Análisis del programa con probetas nuevas

Analizamos el programa con probetas completamente nuevas y diferentes a las del corpus, comprobando la veracidad de los resultados de acuerdo a los niveles empleados para el entrenamiento del sistema. Estos resultados que presenta el programa ayudarán al seguimiento y monitoreo de cada una de las líneas de la tubería de vapor. Se analizaron también imágenes completamente diferentes a lo que se estudia en el programa, es decir imágenes que no tienen ningún parecido o se asemejen a una corrosión de tubería, obteniendo un resultado de ERROR, esto debido a que la programación cuenta con un parámetro que permite identificar parámetros fuera de los rangos de corrosión identificados; es decir cuando se aleja del valor de 3, siendo 3 una distancia euclidiana de cualquier nivel más cercano dentro del programa.

Los resultados obtenidos en el análisis de diferentes probetas, nos dejan ver que el programa reconoce y clasifica de acuerdo a lo requerido, presentando así los valores

más cercanos y reales a los cuatro niveles. Se estudia la imagen de una probeta donde se presentará el resultado de uno de los niveles de corrosión, esta imagen no está cargada en el corpus que se encuentra en el programa.

Se inicia siempre un análisis nuevo dando click en 

, lo cual nos lleva a la ventana de navegación donde se puede elegir una imagen que se encuentre en cualquier ubicación del computador o de un dispositivo externo como se presenta en la figura 4.1. En este caso se selecciona la carpeta Imágenes de Prueba y se carga cualquier imagen para estudiar.

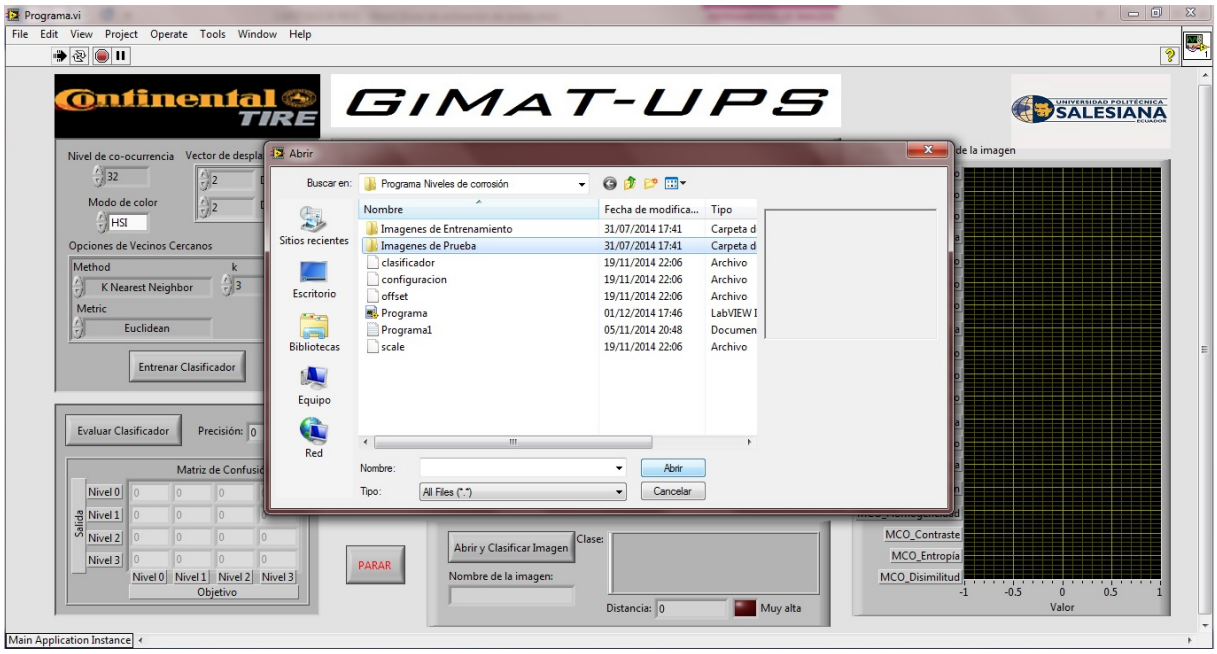


Figura 4.1: Análisis con Imagen Nueva. **Fuente:** Autores

Inmediatamente el programa presenta el resultado que coincide con la clasificación visual de dicha probeta. En la figura 4.2, se observa la interfase presentando el resultado de clasificación. Se puede apreciar que el resultado arrojado es el Nivel 1, además se indica la distancia al centro del nivel de 1.34 que nos da una mayor confiabilidad.

Los valores e imágenes que presenta el programa de cada probeta nueva que es ingresada al microscopio para la captura de imagen, es completamente clara y real ya que no se ocupa ningún tipo de post-procesamiento después de su captura, mejorando el resultado del análisis.

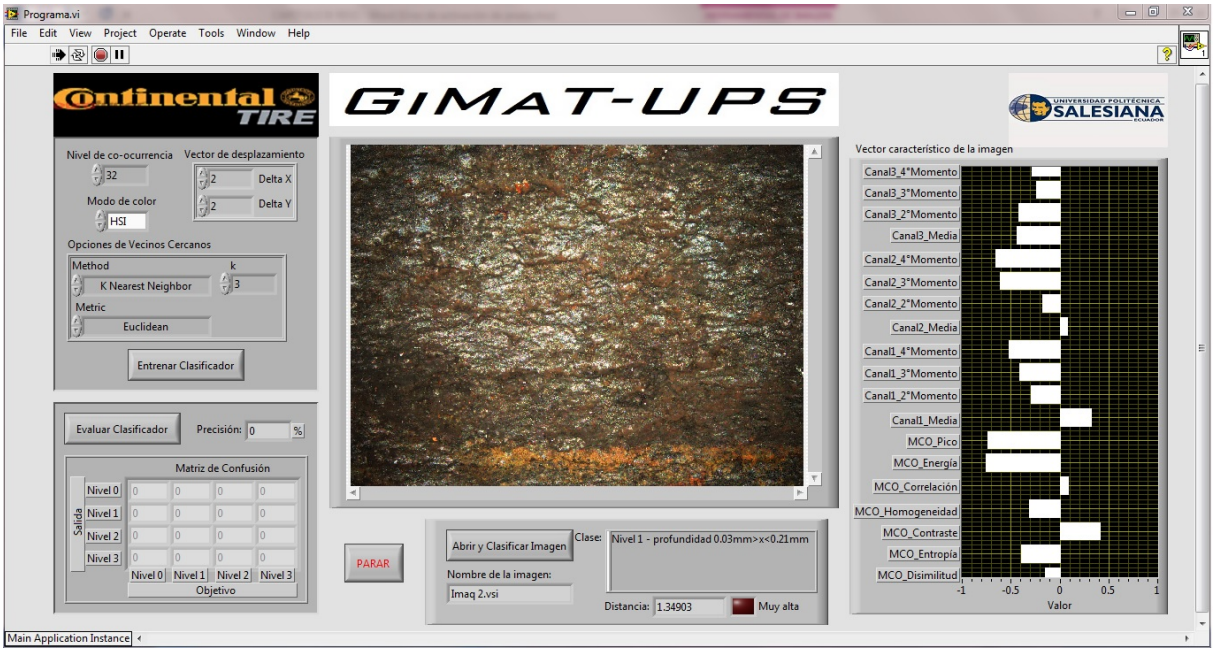


Figura 4.2: Resultado del análisis con Imagen Nueva. **Fuente:** Autores

4.2 Sistematización de resultados

El programa de aplicación se fija de la manera más simple, de modo que cualquier operador inexperto pueda hacer el correspondiente análisis con un mínimo entrenamiento. Este presenta resultados claros y fáciles de interpretar a cualquier persona que lo maneje, ya que los resultados que entrega son mediante gráficas, números y distancia al centro de nivel, es decir de fácil lectura sea cual sea el resultado.

4.2.1 Análisis y resultados de corrosión y picadura en el nivel 0

En la figura 4.3se muestra el resultado de una probeta con corrosión de nivel 0 donde se aprecia que a pesar de ser una probeta completamente nueva y no ingresada en la línea, ya cuenta con defectos y anomalías según el análisis del programa, podemos darnos cuenta que a pesar de que la corrosión es mínima, existe.

Los resultados mostrados nos indican una distancia al nivel del centro de la tubería de 0.45 que nos da una mayor confiabilidad, la distancia de profundidad de la superficie por defecto de fábrica tiende a valores menores a 0.03mm.

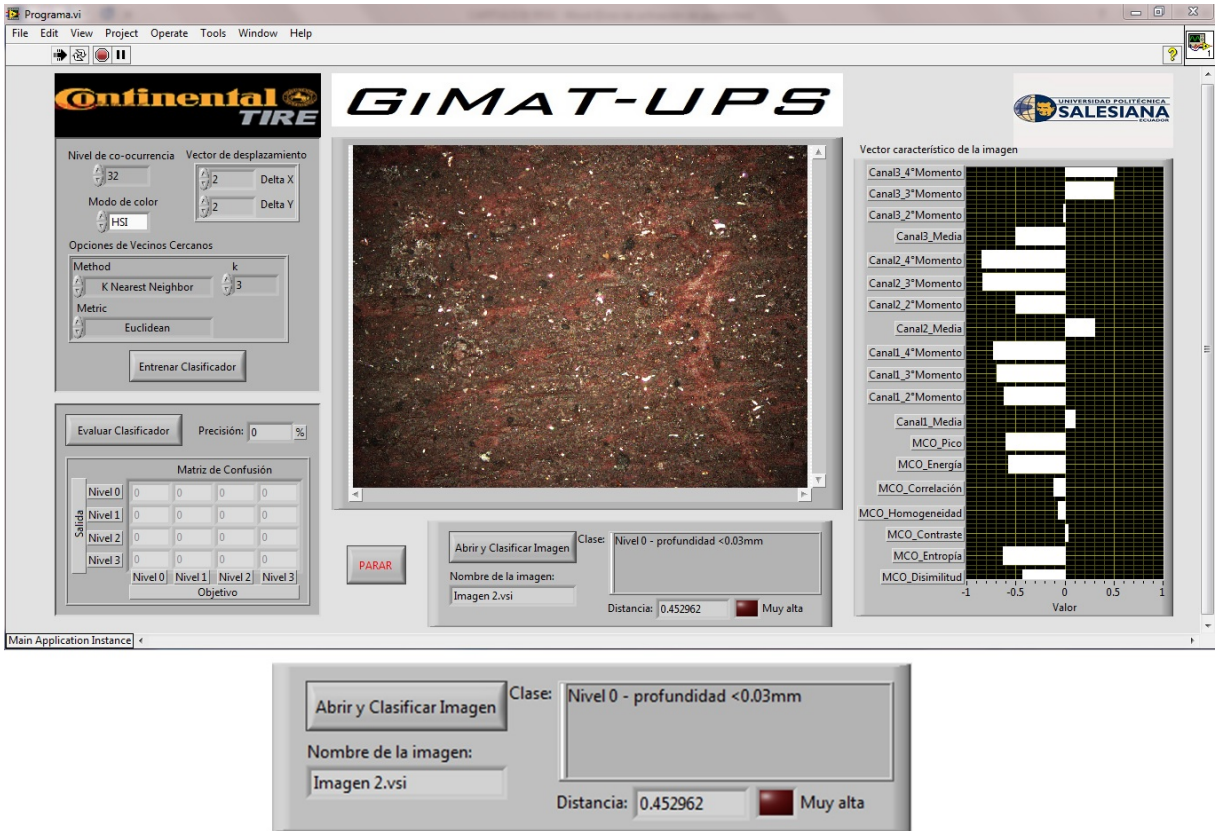


Figura 4.3: Resultado del análisis con Imagen Nueva-NIVEL 0 **Fuente:** Autores

4.2.2 Análisis y resultados de corrosión y picadura en el nivel 1

El resultado de este nivel se observa en la figura 4.4 donde nos presenta que el nivel de corrosión es moderado, lo cual deja apreciar cual es la zona que actuará como ánodo y generará picaduras. Por otro lado presenta diferente color y mayor cantidad de deposición de material pegado en las paredes de la tubería. Este es el punto crítico donde la tubería empieza a corroer, haciendo conocer su desgaste y alertando de que existe algún tipo de problema.

En este caso lo más recomendable será dar un mantenimiento predictivo haciendo el seguimiento de la duración del tiempo de trabajo hasta que sea necesario el mantenimiento correctivo o cambio de la sección de la tubería. Los niveles de profundidad van desde 0.03mm hasta 0.21mm extendiéndose hasta 0.3mm, tal como se puede revisar en la tabla 2.1.

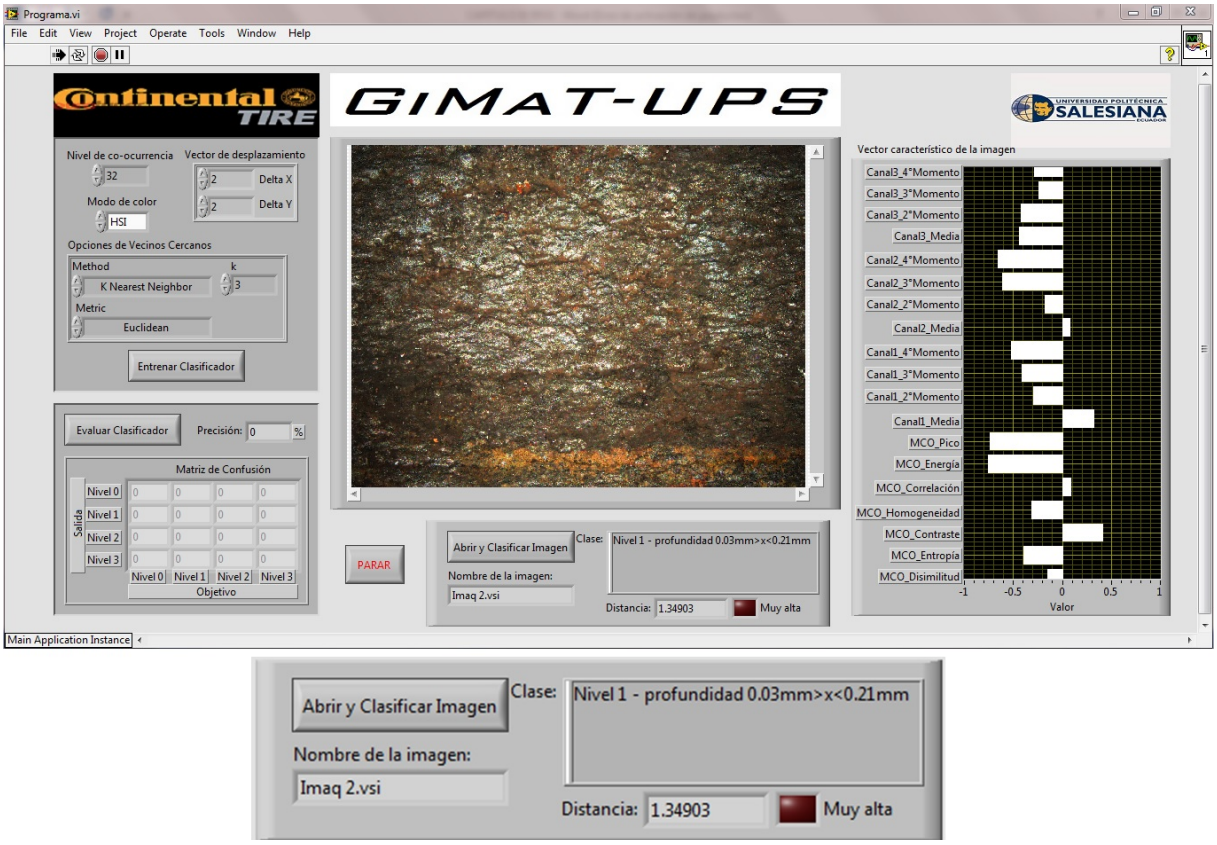


Figura 4.4: Resultado del análisis con Imagen Nueva-NIVEL 1. **Fuente:** Autores

4.2.3 Análisis y resultados de corrosión y picadura en el nivel 2

En este nivel se observa que la probeta presenta mayor corrosión figura 4.5, con una picadura más profunda esto debido al mayor desgaste, en la superficie de la probeta se observa una tonalidad oscura debido a la deposición del material desprendido aguas arriba de la zona de análisis..

La profundidad de la picadura en este nivel varía desde 0.3mm hasta los 1.86mm, aquí la tubería tiene una capa considerable de material en su superficie que si bien la misma le ayuda a que resista más la corrosión no deja apreciar el daño real o desgaste.

4.2.4 Análisis y resultados de corrosión y picadura en el nivel 3

Por último presentamos la probeta con el nivel más alto de corrosión de acuerdo a los patrones establecidos, siendo esta de nivel 3. La figura 4.6, la misma que presenta la picadura total en la tubería, sugiriendo que sea cambiada inmediatamente ya que ocasionará la ruptura de la misma, provocando grandes pérdidas de presión o accidentes.

La profundidad de este nivel es igual o superior a 1.86 mm . . Con estos valores

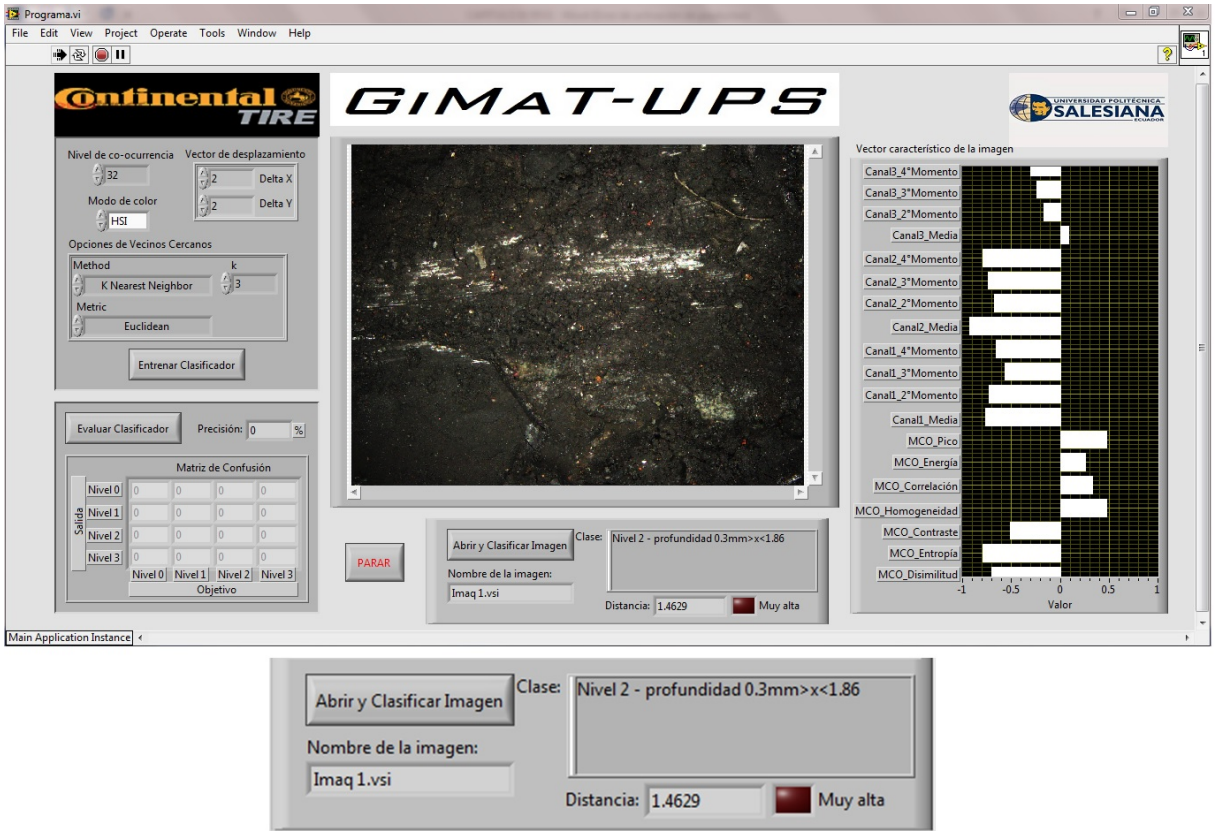
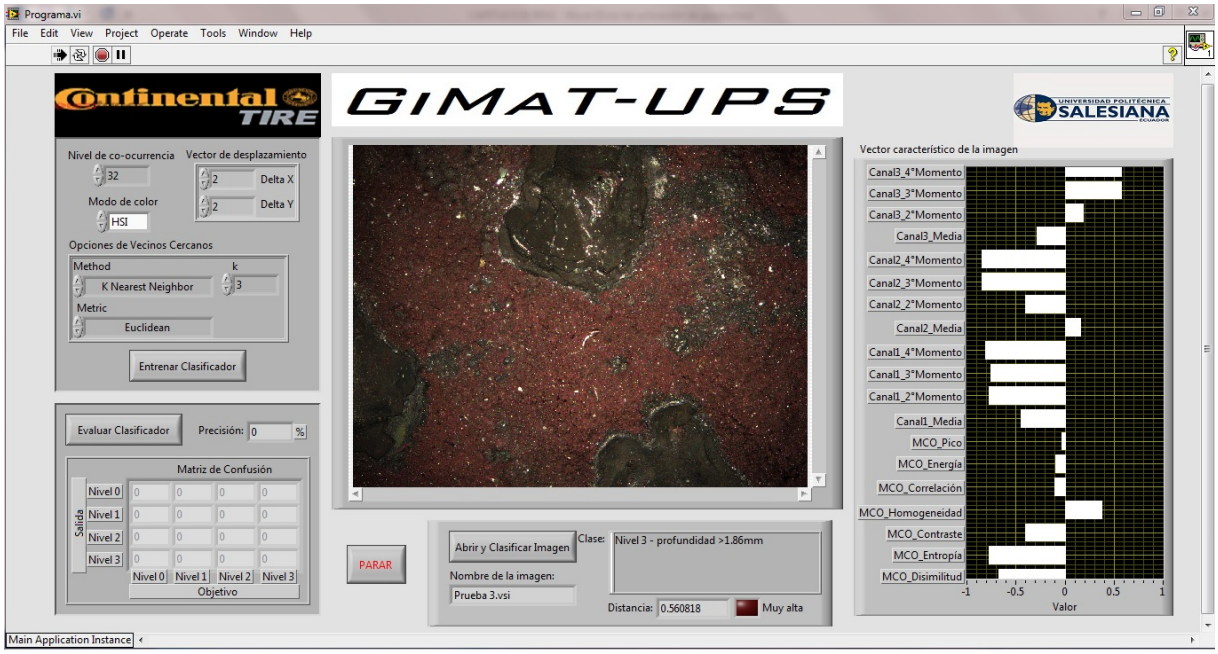


Figura 4.5: Resultado del análisis con Imagen Nueva-NIVEL 2. **Fuente:** Autores



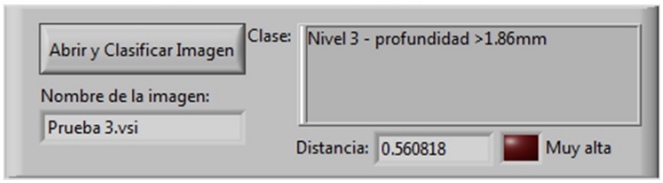


Figura 4.6: Resultado del análisis con Imagen Nueva-NIVEL 3. **Fuente:** Autores

de desgaste se puede lograr el colapso de la tubería. Se observa también gran capa de material depositado sobre la superficie figura 4.7, la misma que una primera inspección visual no deja apreciar el desgaste real de la tubería, con lo cual es imposible conocer o predecir un tiempo aproximado de duración.

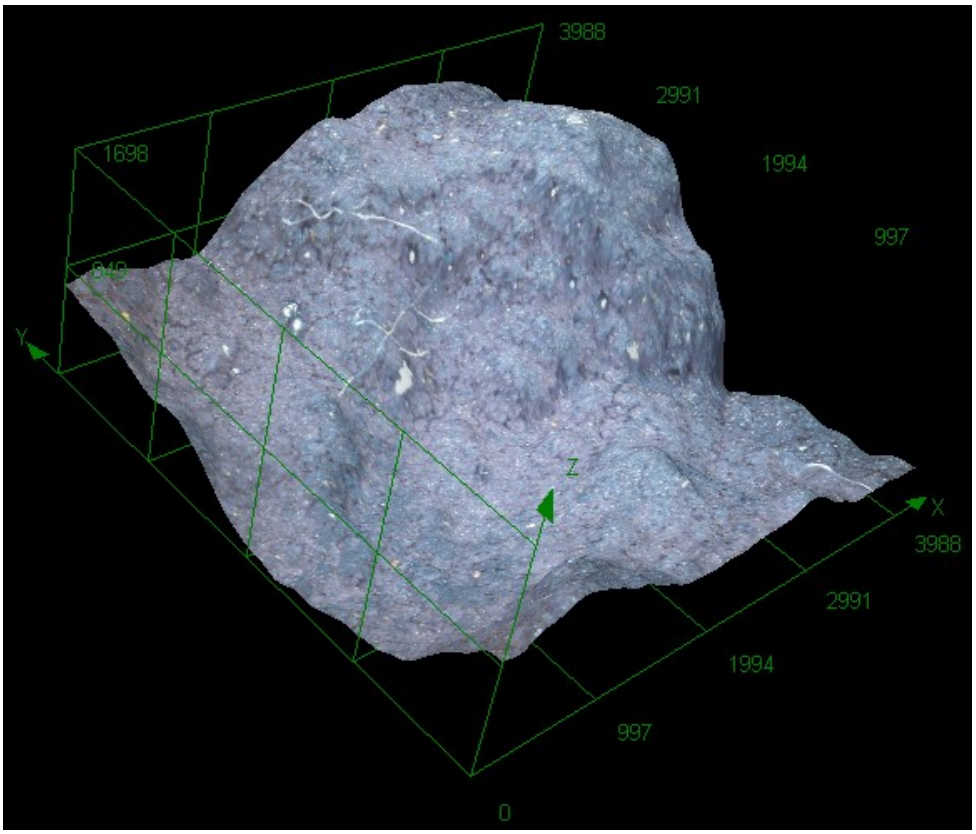
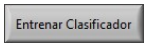


Figura 4.7: Vista en 3D de la deposición de material sobre la superficie de la tubería. **Fuente:** Autores

4.3 Retroalimentación del Sistema

Una de las características del programa es que puede actualizar su corpus de imágenes las veces que sea necesario, es decir que toda imagen nueva que sea analizada y clasificada puede ser cargada y actualizada, tan solo copiándola en su carpeta de destino y con su respectivo nombre.

Una vez realizado este procedimiento se deberá reentrenar al clasificador figura 4.8, dando clic en 

, lo cual actualiza la base de imágenes del programa.

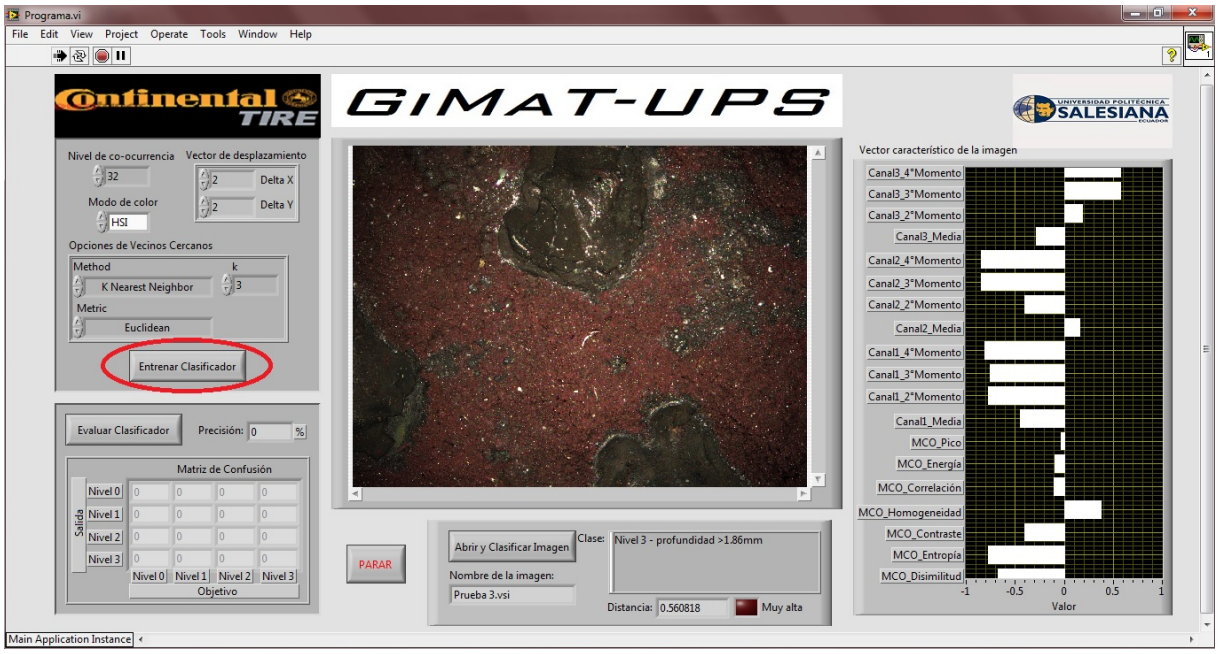


Figura 4.8: Reentrenamiento del Programa. **Fuente:** Autores

4.4 Proyección de futuros trabajos sobre la investigación

1. Una de los principales trabajos a sumar a la investigación, es que se cuenta con una opción libre del programa en la que se puede anexar mayores datos de resultados como por ejemplo un análisis químico del material depositado sobre la superficie de la tubería, esto se muestra en la figura 4.9.

Figura 4.9: Ejemplo de Resultado con Análisis Químico. **Fuente:** Autores

2. Dentro del desarrollo del programa se determinó la capacidad de realizar un upgrade a futuro, el cual permitirá realizar un análisis completo de las tuberías sin la necesidad de seccionar o desmontar para obtener probetas, mediante la programación de un path adicional, el cual constará de un análisis de video en tiempo real con la utilización del Boroscopio figura 4.10; en este path deberá crearse un sub-corpus de imágenes adquiridas con el Boroscopio y directamente relacionadas con las imágenes adquiridas con el microscopio, para que en el momento donde la sonda (Boroscopio) ingrese a la tubería esta compare con el sub-corpus y nos muestre de resultado la imagen del corpus principal.

3. La proyección final de esta investigación una vez desarrollados los puntos anteriores, es la capacidad de desarrollar una técnica de mantenimiento predictivo, la cual como su nombre indica estaría en la capacidad de predecir o dar a conocer el comportamiento real de la corrosión en una red de tuberías de vapor; siendo esta una herramienta fundamental en el ahorro de energía y cortes imprevistos de producción debido a que

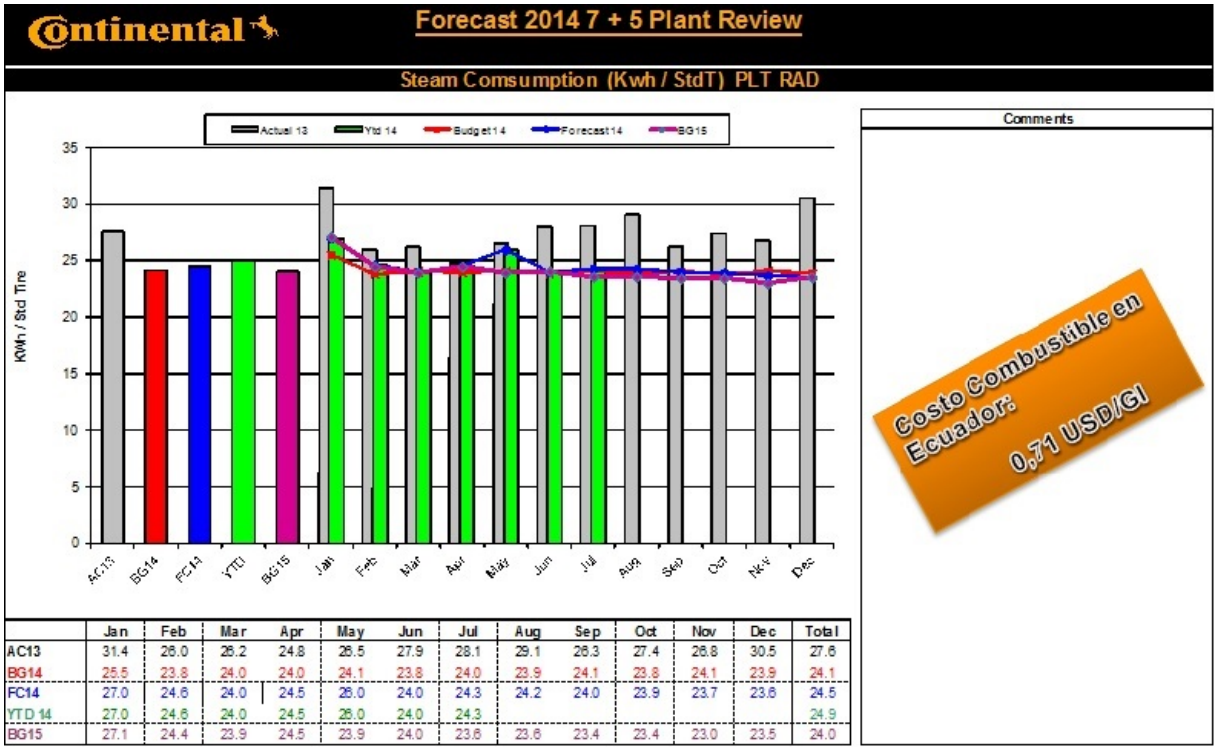
Figura 4.10: Imagen General de un Boroscopio. **Fuente:** Autores

las fugas se presentan irregularmente en un intervalo de tiempo determinado. En las figura 4.11 y 4.12 se puede revisar el consumo de vapor en la planta Continental en la ciudad de Cuenca.

4. El desarrollo de este estudio se procederá a proteger con el IEPI (Instituto Ecuatoriano de Propiedad Intelectual) el mismo que nos garantizará tener la patente de todo este proceso, acogiéndonos a la figura de Propiedad Industrial que cubre lo descrito a continuación:

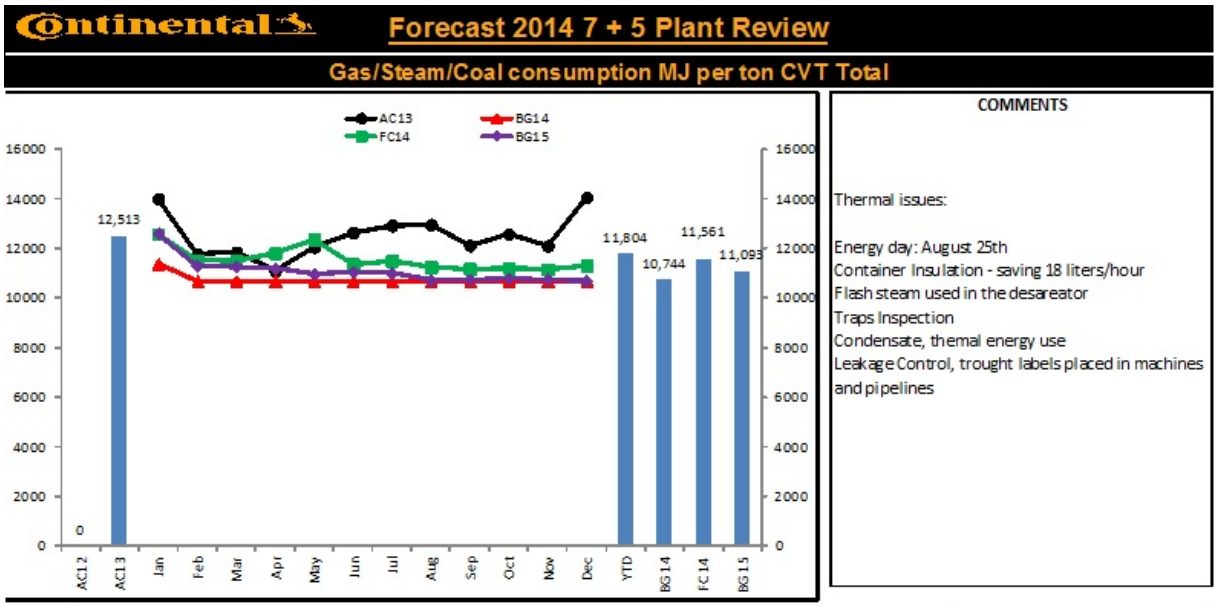
   "Propiedad Industrial
   En propiedad industrial, el IEPI incluye las invenciones, patentes, marcas, dibujos y modelos industriales e indicaciones geográficas de procedencia; Se encarga de promover y acatar el respeto a la Propiedad industrial, mediante la educación, difusión y vigilando el cumplimiento de la normativa jurídica vigente, establecido en el reconocimiento del derecho de propiedad industrial en todas sus manifestaciones, una gestión de calidad en el registro y garantizando el acceso y difusión de la misma." [31]

Todo el corpus de Imágenes se lo puede revisar en el Anexo 6 con lo que puede facilitar la comprensión del comportamiento de la corrosión en los diferentes Niveles.



	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
AC13	31.4	26.0	26.2	24.8	26.5	27.9	28.1	29.1	26.3	27.4	26.8	30.5	27.6
BG14	25.5	23.8	24.0	24.0	24.1	23.8	24.0	23.9	24.1	23.8	24.1	23.9	24.1
FC14	27.0	24.6	24.0	24.5	26.0	24.0	24.3	24.2	24.0	23.9	23.7	23.6	24.5
YTD 14	27.0	24.6	24.0	24.5	26.0	24.0	24.3						24.9
BG15	27.1	24.4	23.9	24.5	23.9	24.0	23.8	23.6	23.4	23.4	23.0	23.5	24.0

Figura 4.11: Consumo de Vapor PLT. **Fuente:** POR Continental Tire Andina S.A



	AC12	AC13	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	YTD	BG 14	FC 14	BG 15
	0	12513													11804	10744	11561	11093
AC13			14010	11768	11852	11102	12054	12635	12925	12965	12121	12574	12097	14058				
BG14			11378	10686	10686	10686	10686	10686	10686	10686	10686	10686	10686	10686				
FC14			12577	11524	11488	11809	12361	11356	11515	11247	11182	11204	11165	11302				
BG15			12600	11305.3	11274.8	11209.1	10969.1	11056.7	11010.5	10735.9	10734.2	10781.4	10746.1	10691.6				

Figura 4.12: Consumo de Vapor CVT. **Fuente:** POR Continental Tire Andina S.A

4.5 Caso de Estudio

El desarrollo del presente informe tiene como fin presentar un análisis real del estado de corrosión de las redes que fueron extraídas las muestras e identificar el nivel de corrosión en cada caso y las recomendaciones desde el punto de vista del mantenimiento:

- **Presentación de la Empresa.**

  Continental Tire Andina, compañía que forma parte del grupo Continental AG de Alemania, antes conocida como ERCO, que se constituyó en el segundo semestre de 1955, bajo el nombre de Ecuadorian Rubber Company C.A., con su propulsor y ejecutor el Dr. Octavio Chacón Moscoso.

- **Descripción del Caso.**

  La Empresa Continental Tire Andina fue seleccionada para realizar el estudio de la corrosión en las tuberías de vapor de las zanjas de vulcanización, figura 4.13; ya que la red de vapor es la principal fuente de energía de trabajo para el proceso de producción.

- **Análisis real de la situación actual en las tuberías de vapor**

Como se observó en las diferentes imágenes de cada una de las probetas de las secciones obtenidas en la Empresa mencionada, se llega a la conclusión que en cada linea de vapor existen diferentes niveles de corrosión, siendo en unas secciones más críticas que en otras debido a que no existe un programa o rutina de revisión del estado de las tuberías. Actualmente lo único que se realiza es mantenimiento correctivo para corregir la fuga que se presenta soldando un parche sobre la misma.

Dada esta situación, todas las muestras extraídas dentro de la red de vapor son aleatorias y no corresponden a un lugar específico de la zanja respectiva; siendo imposible determinar el punto de la zanja más crítica sometida a corrosión. Sin embargo si se puede dar un criterio general del estado de las tuberías de las zanjas estudiadas como se muestra en la tabla 4.1.

Analizando el punto de vista de mantenimiento versus la situación actual de las zanjas estudiadas, se determina que por el momento no se puede realizar un diagrama del estado real de las tuberías en la red de vapor identificando los puntos críticos de cada

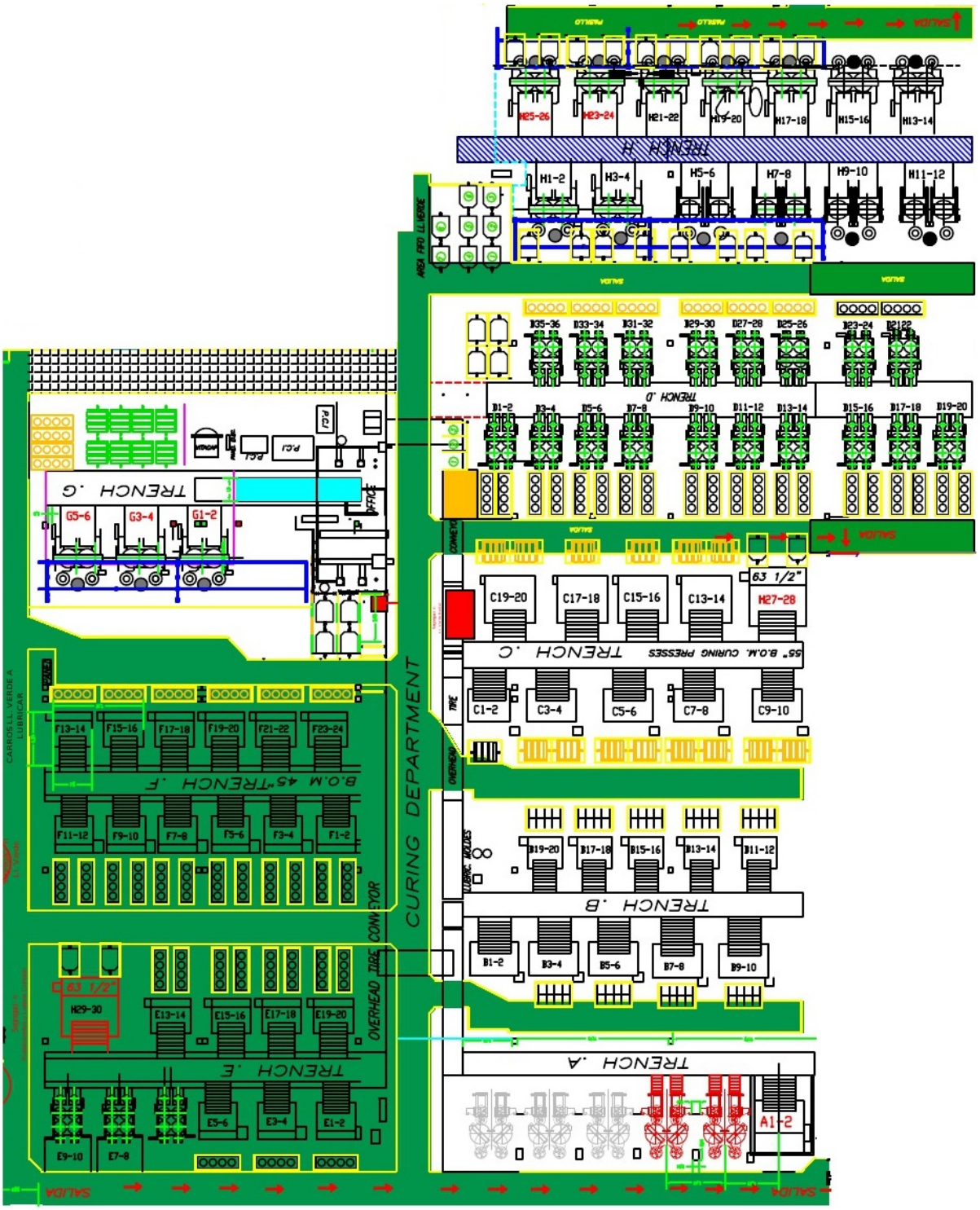


Figura 4.13: Zanjas de Vulcanización. **Fuente:** Autores

zanja. Lo cual una vez completado esta investigación y llevarlo a la aplicación en campo agilitaría y reduciría los problemas imprevistos que se presentan debido a la corrosión

ESTADO DE CORROSION EN LAS ZANJAS DE VULCANIZACION			
Ubicación de la Zanja	**Realizado/No Realizado**	**Estado**	**Acciones Recomendadas**
Zanja A	No Realizado	Instalando Nuevas Prensas	Hacer seguimiento del tiempo de duracion de la tuberia, cuando esta arranque en produccion y presente la primera fuga.
Zanja B	No Realizado	No se obtuvo probetas por necesidad de produccion	En MFA 2014, se recomienda aislar tramos de la tuberia para analizar el nivel de corrosión ya que actualmente presentan algunas fugas
Zanja C	No Realizado	No se obtuvo probetas por necesidad de produccion	En MFA 2014, se recomienda aislar tramos de la tuberia para analizar el nivel de corrosión ya que actualmente presentan algunas fugas
Zanja D	Realizado	Las secciones aisladas de tuberia de esta zanja presentan corrosión de **Nivel 2,** aunque algunas secciones presentan **Nivel 1**	Seguimiento a la tuberia de la zanja y continuar con el Mantenimiento Correctivo hasta que la tuberia cambie de nivel de corrosion
Zanja E	Realizado	Las secciones aisladas de tuberia de esta zanja presentan corrosión de **Nivel 1**	Seguimiento a la tuberia de la zanja y continuar con el Mantenimiento Correctivo hasta que la tuberia cambie de nivel de corrosion
Zanja F	Realizado	Las secciones aisladas de tuberia de esta zanja presentan corrosión de **Nivel 2,** aunque algunas secciones presentan **Nivel 1**	Zanja con nivel de corrosion mas considerable, se recomienda programar cambios de secciones afectadas y evaluar las que tienen menores niveles de corrosión.
Zanja G	No Realizado	No se obtuvo probetas por que la linea tiene poco tiempo de trabajo	En MFA 2014, se recomienda aislar tramos de la tuberia para analizar el nivel y comportamiento de la corrosión.
Zanja H	Realizado	Las secciones aisladas presentan corrosion de **Nivel 3**, siendo esta zanja la que esta al final de la linea.	Se recomienda llevar un control estadistico de toda las tuberia nueva que ingresa a la linea, para poder controlar el tiempo de vida util de la misma. Ya que esta presenta nivel critico de corrosión y por ende presencia continua de fugas.
Semaforo de Corrosion			
	No Realizado	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3

Tabla 4.1: Estado de la Corrosión en la Zanjas de Vulcanización. **Fuente:** Autores

4.6 Conclusiones

La corrosión está presente en todas las zonas de las tuberías en Vulcanización, es un hecho que no se puede evitar pero si controlar; no obstante esto conlleva al desarrollo de técnicas que permitan predecir o alargar la vida útil de las tuberías. Es por esto que se propone un método de análisis de corrosión utilizando y optimizando los recursos tecnológicos disponibles.

Para la obtención de las imágenes finales, previamente se realizaron varios tipos de pruebas cambiando el campo de luz, filtros y condiciones de exposición; dado que es un proceso experimental los valores de trabajo fueron definidos de esta manera.

Para el Procesamiento Digital de Imágenes se definió previamente 4 niveles de corrosión en los cuales las probetas son clasificadas por el observador para ser entrenadas en el programa como patrones de los respectivos niveles. El programa es capaz de crear su base de datos a partir de una dirección específica donde tiene preclasificadas las imágenes patrón.

En las pruebas de funcionamiento, la clasificación fue correcta tanto del observador como la del resultado del programa quedando así por confirmar la clasificación de las imágenes patrón la cual se realiza por medio de la matriz de confusión, esta confirma que el corpus está correcto. Además de esto el programa tiene abiertas más alternativas como son:

1. Para extender su alcance hasta los análisis químicos de las sustancias en deposición sobre la superficie corroída.

2. Realización de pruebas en vivo dentro de la tubería instalada con ayuda de un Boroscopio y sincronización de imágenes.

3. Por la estructura del software este se puede extender hasta aplicaciones de corrosión por agua, vapor, ambiental etc.; ya que el mismo trabaja sobre la composición de la imagen y del corpus con el que se entrena. Como conclusión final se confirma que la lucha y control de corrosión es uno de los aspectos más importantes y fundamentales dentro del mantenimiento, ya que es una área bastante amplia por las condiciones o parámetros que se tiene que considerar.

4.7 Recomendaciones

Luego del proceso desarrollado y para garantizar que los resultados sean confiables y no alteren los resultados en ningún punto del análisis se recomienda: Es necesario que las probetas previamente a ser revisadas en el microscopio estén completamente limpias y secas, sin aristas vivas ni alteradas su superficie. Utilizar solo el filtro de luz blanca ya que los otros alteran la coloración de la imagen y por ende los resultados tienden a variar. Así mismo se recomienda no activar en la escalita en las imágenes ya que esta puede presentar desviaciones en la clasificación. Garantizar siempre antes de que una imagen sea capturada, el proceso de set-up del microscopio y del software del mismo ya que este controla que todas las imágenes tengan iguales condiciones y variables. No es necesario volver a entrenar el software del programa ya que cuando fue entrenado por primera vez, este ya queda guardado en su memoria; sea cuantas veces se cierre el programa y se vuelva a abrir después. Salvo que se hayan añadido más imágenes de nuevas probetas al corpus o se integren más datos de resultado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] SOLIS, S. G. S.; OLALLA, J. R. N. *Evaluación de defectos por corrosión en líneas de transporte de hidrocarburos*. [S.l.]: QUITO/EPN/2007, 2007.

[2] TOVAR, C.; SUBERO, R.; CASTRO, J. Evaluacion de la corrosión en tuberias de sistemas de aguas industriales.

[3] GALINDO, S.; ERNESTO, A. Empleo de procesamiento digital de imágenes para la determinación de las causas de fallas en el acero al carbono SAE 1018. 2011.

[4] MOTAMEDI, M.; FARAMARZI, F.; DURAN, O. New concept for corrosion inspection of urban pipeline networks by digital image processing. In: *IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*. [S.l.: s.n.]. p. 1551–1556.

[5] MEDEIROS, F. N. et al. On the evaluation of texture and color features for non-destructive corrosion detection. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Hindawi Publishing Corp., v. 2010, p. 7, 2010.

[6] APLICACIONES de las Calderas vapor. Disponible en: <http://es.globedia.com/aplicaciones-calderas-vapor>.

[7] SANTILLÁN, I. D. G. *Vision Artificial Procesamiento Digital de Imagenes Usando Matlab*. [S.l.: s.n.], 2008.

[8] PIXEL de una imagen - Buscar con Google. Disponible en: <https://www.google.com.ec/search?q=imagen+real+y+pixel&biw=1366&bih=666&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=2piDVLvOB8u1sATp64DgCg&ved=0CAYQ_AUoAQ#tbm=isch&q=pixel+de+una+imagen&facrc=_&imgdii=_&imgrc=jMxIz6VrMUhRIM%253A%3BMW2tk_APLnlDiM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.axis.com%252Facademy%252Fimage_quality%252Fimg%252Fpixel.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.axis.com%252Fes%252Facademy%252Fimage_quality%252Fadvanced_camera_settings.htm%3B779%3B661>.

[9] IMAGE Zone Printing & Graphics, Since 1997 | Printing | Photography | Scanning | Large Format | Graphic Design | Internet | Murrieta Temecula. Disponible en: <http://www.imagezone.net/>.

[10] ALBA, J. L. *Universidad de Vigo; Cid, Jesús, Universidad Carlos III de Madrid; Mora, Inmaculada, Universidad Rey Juan Carlos, Morfología Matemática, Aplicación a procesado de imágenes binarias y monocromáticas*.

[11] SEGURA, W. M. B. Estudio de la corrosividad del jugo de caña en los puntos más críticos del proceso de elaboración de azúcar en el micro ingenio ASPROCA. 2012.

[12] TRANSFORMADAS de Fourier - Luz-wiki. Disponible en: <http://luz.izt.uam.mx/mediawiki/index.php/Transformadas_de_Fourier>.

[13] TRANSFORMADAS de la Imagen. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/ccwgrrom/transparencias/pdf-vision-1-transparencias/capitulo-4.pdf>.

[14] ORTÍZ, M. M. Procesamiento digital de imágenes. *Benemérita universidad Autónoma de Puebla http://www. cs. buap. mx/˜ mmartin/pdi*, 2013.

[15] COST of Corrosion Study Overview. Disponible en: <http://www.nace.org/Publications/Cost-of-Corrosion-Study/>.

[16] CORROSION Interna. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/49708970/corrosion-interna>.

[17] BABOIAN, R. *Corrosion tests and standards: application and interpretation*. [S.l.]: ASTM international, 2005.

[18] MARTÍ, M. Q. et al. Estudio comparativo de la normativa existente para la evalución del grado y velocidad de corrosión en aceros para la construcción. Universitat Politécnica de Catalunya, 2012.

[19] HIJES, F. C. G. de L.; LORENTE, D. J. A. *Manual básico de corrosión para ingenieros*. [S.l.]: EDITUM, 2004.

[20] SOLIS, S. G. S.; OLALLA, J. R. N. *Evaluación de defectos por corrosión en líneas de transporte de hidrocarburos*. [S.l.]: QUITO/EPN/2007, 2007.

[21] DAVIS, H. *Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería*. [S.l.]: Continental, 1966.

[22] HARALICK, R. M.; SHAPIRO, L. G. *Computer and robot vision, Vol. I, 1992*. [S.l.]: Addison-Wesley.

[23] PRESUTTI, M. La matriz de co-ocurrencia en la clasificación multiespectral: tutorial para la enseñanza de medidas texturales en cursos de grado universitario. *Sáo Leopoldo, Brasil*, 2004.

[24] TIPOS de microscopios : compuesto, optico, digital, fluorescente, microscopio, electronico, estereo. Disponible en: <http://www.tiposdemicroscopio.com/>.

[25] TEMA 8 Color. Disponible en: <http://webdiis.unizar.es/ neira/12082/L7color.pdf>.

[26] MOLINA, R. Introducción al procesamiento y análisis de imágenes digitales. *Departamento de Ciencias de la Computación e IA Universidad de Granada. España. http://www. secyt. frba. utn. edu. ar/gia/Procesamiento_Imagenes. pdf*, 1998.

[27] ZAMORA, F. G. O. *Procesamiento morfológico de imágenes en color: aplicación a la reconstrucción geodésica*. [S.l.: s.n.], 2002.

[28] FORMATOS de Imagen Digital. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num5/art50/may_art50.pdf>.

[29] OLYMPUS. Redefining materials science (materials imaging software start, basic,essentials, motion). *Steam Family. Germany*, 2010.

[30] PDI04 Procesamiento Basico. Disponible en: <http://www2.elo.utfsm.cl/ elo328 /pdf1dpp/PDI04_Procesamiento_Basico_1dpp.pdf>.

[31] PROPIEDAD Industrial | Instituto Ecuatoriano de la Propiedad Intelectual. Disponible en: <http://www.propiedadintelectual.gob.ec/propiedad-industrial/>.

ANEXO A – CARTA DE CONTROL DE SOLIDOS EN CALDEROS

Continental

ANALISIS DE AGUAS
LABORATORIO DE CASA DE FUERZA
CALDEROS VIESSMANN

Código:	655-C6
Creado:	28 / 03 / 00
Revisión:	8 05/04/2012

FECHA: 20 - 09 - 2014

PARAMETROS	OSMOSIS	LIMITES
PH	5.3	6.0 - 9.0
CONDUCTIVIDAD	9.2	< 25
S.D.T		
ALCALINIDAD		
DUREZA	0.76	< 1
SILICE	0.35	< 0.5
HIERRO		
RESIDUAL ELIMINOX		
TRASAR 22300 (3)		

ALIM. CALDERO	LIMITES
6.2	7 - 9.5
10.3	< 25.0
6.0	< 15.0
2.44	< 1
0.60	< 0.5
0.58	
	1 - 5
3.45	

AGUA CALD.		LIMITES
C1	C2	
10.7	10.7	10.5 - 11.8
1398	1395	< 4000
1218	979	< 2400
160	128	MAX 400
3.20	219	< 15
42.1	66.5	< 60
2.63	3.02	< 2
508	413	500 - 800

DUREZA				
TIPO	OSMOSIS	ALIMENT	C1	C2
DUREZA (Mg)	0.45	0.63	3.07	2.18
DUREZA (Ca)	0.31	1.81	0.13	0.01
D. TOTAL	0.76	2.44	3.20	2.19

ALCALINIDAD	C1	C2
ALCALINIDAD P		
ALCALINIDAD M		
ALCALINIDAD P OH (2P-M)	160	128

DESAIREADOR CALDEROS		
ELIMINOX	1 1/2	LTS

CALDEROS		
NEXGUARD 22300	4	LTS
SOSA CAUSTICA	—	LTS

DOSIFICACION TORRE ENFRIAMIENTO		
NALCO 3 DT 181	—	LTS
NALCO ST 70	—	LTS

ANALISIS	AGUA ENFR.	LIMITES
DUREZA	46	
ALCALINIDAD		
CONDUCTIVIDAD	193	
SILICE		< 150
PH	9.0	7 - 9
RESIDUAL ELIMINOX		
FOSFATOS		4 - 10
TRASAR 3DT181 (2)		50 - 100
TURBIDEZ		
HIERRO		< 3
TRAZAR 22300 (3)		

A.C.P.	LIMITES
28	
113	
9.4	> 7.5
	1 - 5
	< 1
23.9	30 - 50

AGUA CLARIF.	LIMITES
	< 130
	8 - 10
	< 1

CONDENSADO	LIMITES
	< 1
ACT	4 - 8
13.0	
1.77	
84	8 - 9
0.26	< 0.3

PURGAS	C1	C2
PURGAS DE FONDO CALDERO		
PURGA CONTINUA CALDERO		
PURGA DESAIREADOR A.C.P		

DESAIREADOR A. C. P.		
ELIMINOX	1	LTS
NEXGUARD 22300	6	LTS

VAPOR		
NALCO 52214	6	LTS

CICLOS CONCENTRA.	C1	C2
SILICE		
TORRE EN.(POR SILICE)		

OBSERVACIONES:

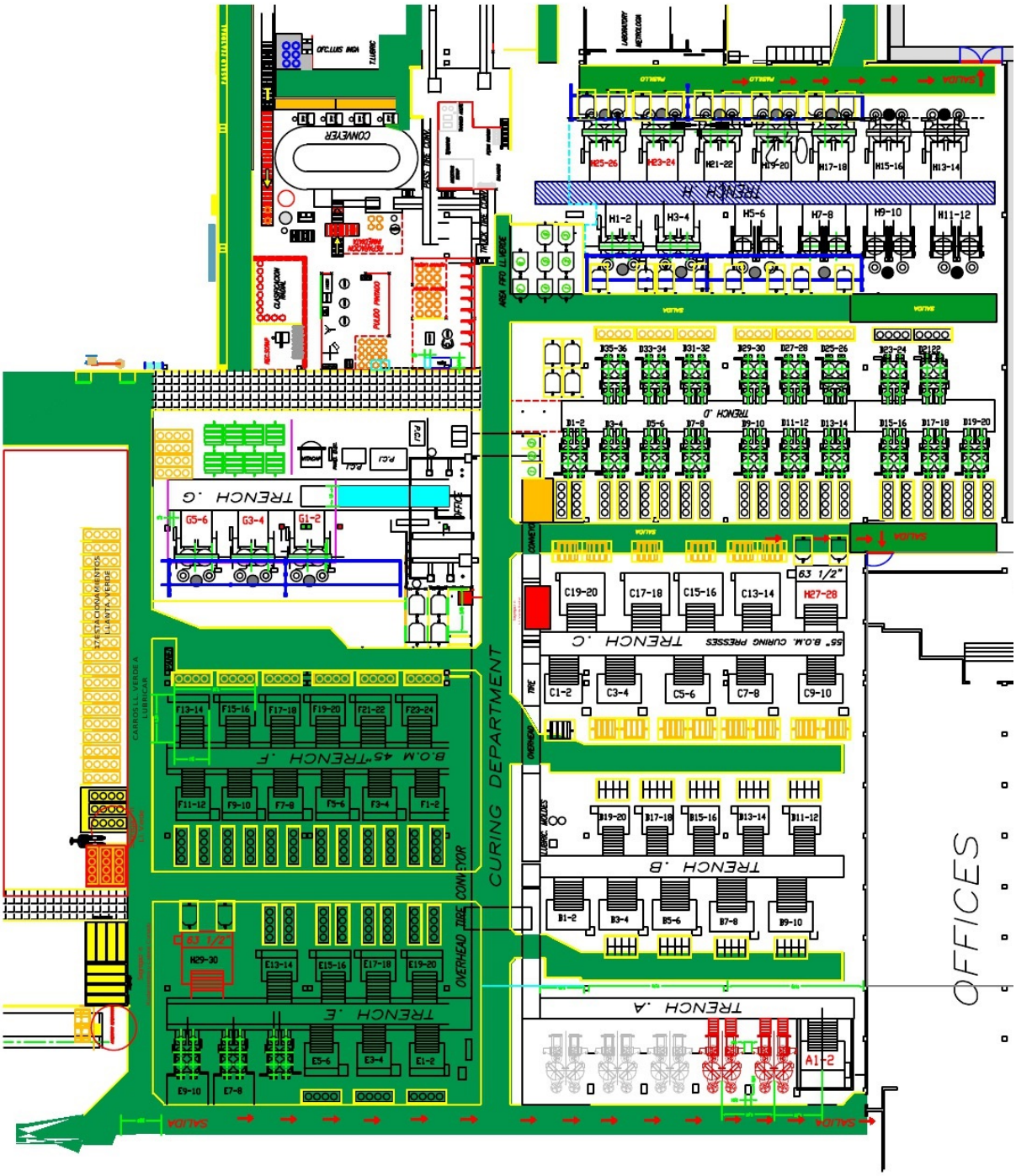
O. Muñoz.
OPERADOR

JEFE DE CASA DE FUERZA

Tiempo de retención: 1 AÑO

IMPRESO EN RAPITO TELF. 285 3993

ANEXO B – DISTRIBUCIÓN ZANJAS DE VULCANIZACIÓN EN PLANTA


CURING DEPARTMENT
OFFICES
TRENCH .A
TRENCH .B
TRENCH .C
TRENCH .D
TRENCH .E
TRENCH .F
TRENCH .G
TRENCH .H
B.O.M 45°TRENCH .F
55" B.O.M. CURING PRESSES
63 1/2"
OVERHEAD TIRE CONVEYOR
CONVEYER
SALIDA

ANEXO C – HOJAS DE CICLO DE CURA 235AT2 LLANTA PLT/295HSC1 LLANTA CVT

Continental Tire Andina S.A.

HEAT ENGINEERING

ESPECIFICACION DE CURA

646-F20.1BOM/2

TIEMPO DE CURA 20.1 min. TEMPERATURA DEL MOLDE 165 ± 3 °C / 329 ± 6 °F

ZANJA F Y E1/2,3/4,5/6 BOM PRENSAS

N.	TIEMPO PARCIAL	TIEMPO ACUMULADO	VAPOR DE BAJA 172 ± 5 PSI 12,0 ± 0,5 BARES		DRENAJE ------- -------	Vacio 50 ± 5 PSI ----------	POST-INFLACION 30 ± 5 PSI ----------	VAPOR DE ALTA 240 ± 5 PSI 16,5 ± 0,5 BARES	ABRE PRENSA 0,0 PSI -------	BOMBA HIDRAULICA (* MOLDES SEGMENTADOS)
1	5.0	5.0								* OFF
2	14.1	19.1								
3	0.2	19.3								
4	0.8	20.1								*ON
6										

LLANTAS	ANCHO PESTAÑAS cm.	TIPO CONTENEDOR	FUERZA CIERRE lbs.	CALIBRE HOMBRO	DIBUJO MOLDE	# DE MOLDES	BLADDER CODIGO	BLADDER ALTURA CONFOR. (cm.)	BLADDER ALTURA ESTIRADO (cm.)	ANILLOS ITEM #1	ANILLOS ITEM #2	ANILLOS ITEM #3	ANILLOS ITEM #4	ANILLOS ITEM #5	ANILLOS BORDE	ALTURAS ESPACIADOR (cm.)	ALTURAS CARGADOR (cm.)	CODIGO COLORES ARO	CODIGO COLORES IDENTIFICACION	ABERTURA DE ANILLOS PCI cm.
LT235/75R15GRABBER AT2	37.5	G43	230000 ± 10000	27.00	PENDIENTE	2	15-17.1	37,5 ± 1	51,0 ± 1	70895	CK938	CK938	CK938	70895	PENDIENTE	56,0 ± 0,3	37,0 ± 0,3	ROJO	AZUL VERDE	20.00

PLATOS O CONTENEDORES SET POINT 175°C ± 3°C O 349°F ± 6°F

PRESION DE POST INFLACION 30 ± 5 PSI

NOTA: . ***TIEMPO DE DELAY 5 Minutos Mínimo***

CONFORMACION PRIMERA 6 A 8 PSI SEGUNDA 10 A 12 PSI

Presión aire del timer 40 ± 5 PSI

Espaciador interno 12 1/4 "

Lubricante de Molde / MONO COAT 5035W / Una vez por turno

Lubricante de Bladder / SP-107 / Cada cambio de bladder

Especificación con CONDENSACION FORZADA

Esta Incluido la Rampa de descenso 1 Bar / minuto entre Vapor de Alta - Vapor de Baja

REV.	FECHA	HISTORIAL	ELABOR.	APROB.	DISTRIBUCION
ORIG.	03/06/2011	NCE # 4196 Cambio de temperatura de plato de 175ºC a 165ºC, aumento de calibre de 25.2 a 27 de acuerdo a nuevo CTD RN 93230 (programa thermo)	J.Carpio		SUPERVISOR DE VULCANIZACION (3) COLOR
1	18/06/2012	NCE# 4518 Aumento en tiempo de vacio de 03 a 0.8			ING. DE CALOR (1) COLOR
2	27/03/2013	NCE# JCAO-967LFW Disminución del tiempo de cura en 18 segundos.			SUPERVISOR DE MOLDES (1)
					ING. INDUSTRIAL (1) COLOR
					SCHEDULER (1) COLOR
			COPIA CONTROLADA 19/11/2014		

Continental Tire Andina S.A.

HEAT ENGINEERING

ESPECIFICACION DE CURA

646-HS-64.1/150BOM/1

TIEMPO DE CURA 64.1 min. TEMPERATURA DEL MOLDE 150°C ± 3°C

LLANTAS	ARTICULO	CALIBRE HOMBRO	FUERZA CIERRE Libras	TIPO CONTENEDOR		ANILLOS ITEM #1	ITEM#2	ITEM#3	ITEM#4	ITEM#5	BLADDER CODIGO	ALTURA CONFORMADO cm.	ALTURA ESTIRADO cm.	ALTURAS ESPACIADOR cm.	CARGADOR cm.	CODIGO DE COLORES ARO	CODIGOS	
12R22.5 CONTINENTAL HSC1	0515198	46.80	600000 ± 20000	HKK			CK1690	CK1690	CK1690		B-20/6	42	72	65	40	BLANCO	AZUL	AZUL

			TIEMPO PARCIAL	TIEMPO ACUMULADO
1	*VAPOR INTERNO (STEAM)*	***17 bar***	8.0	8.0
2	*AGUA CALIENTE ESTACIONADA (HW STAGNATING)*	***27 bar***	17.0	25.0
3	*AGUA CALIENTE CIRCULADO (HW CIRCULATING) + DRENAJE AGUA CALIENTE*	***27 bar***	32.5	57.5
4	*VAPOR VACIADO (STEAM FUSHING) + DRENAJE*	***10 bar***	2.0	59.5
5	*DRENAJE (DRAIN)*		2.6	62.1
6	*VACIO (VACUUM)*		2.0	64.1

CONDICIONES DE CURA DEL PROCESO DE VAPOR Y AGUA CALIENTE

1	*TEMPERATURA DEL PLATO*	***150 ± 3 °C***
2	*PRESION DE AGUA CALIENTE ESTACIONARIA*	***27 ± 2 bar***
3	*PRESION DE AGUA CALIENTE CIRCULANDO*	***27 ± 2 bar***
4	*TEMPERATURA DE AGUA CALIENTE ESTACIONARIA*	***155 ± 3 °C***
5	*TEMPERATURA DE AGUA CALIENTE CIRCULANDO*	***155 ± 3 °C***
6	*VAPOR INTERNO*	***17 ± 2 bar***
7	*TEMPERATURA DEL VAPOR*	***205 ± 3 °C***
8	*VAPOR DE VACIADO*	***10 ± 2 bar***

TIEMPO DE COMPENSACION (paso # 3), TIEMPO DE DELAY (1 CICLO DE CURA)	
LUBRICANTE INTERNO / Lubricar cada tres cargues	*MONOLUBE 8181 (1:3)*
LUBRICANTE DE MOLDE / UNA VEZ POR TURNO	*MONO COAT 5035W*
LUBRICANTE DE BLADDER / CADA CAMBIO DE BLADDER	*MONOLUBE 8181*

OBSERVACIONES

PRESIONES DE CONFORMACION

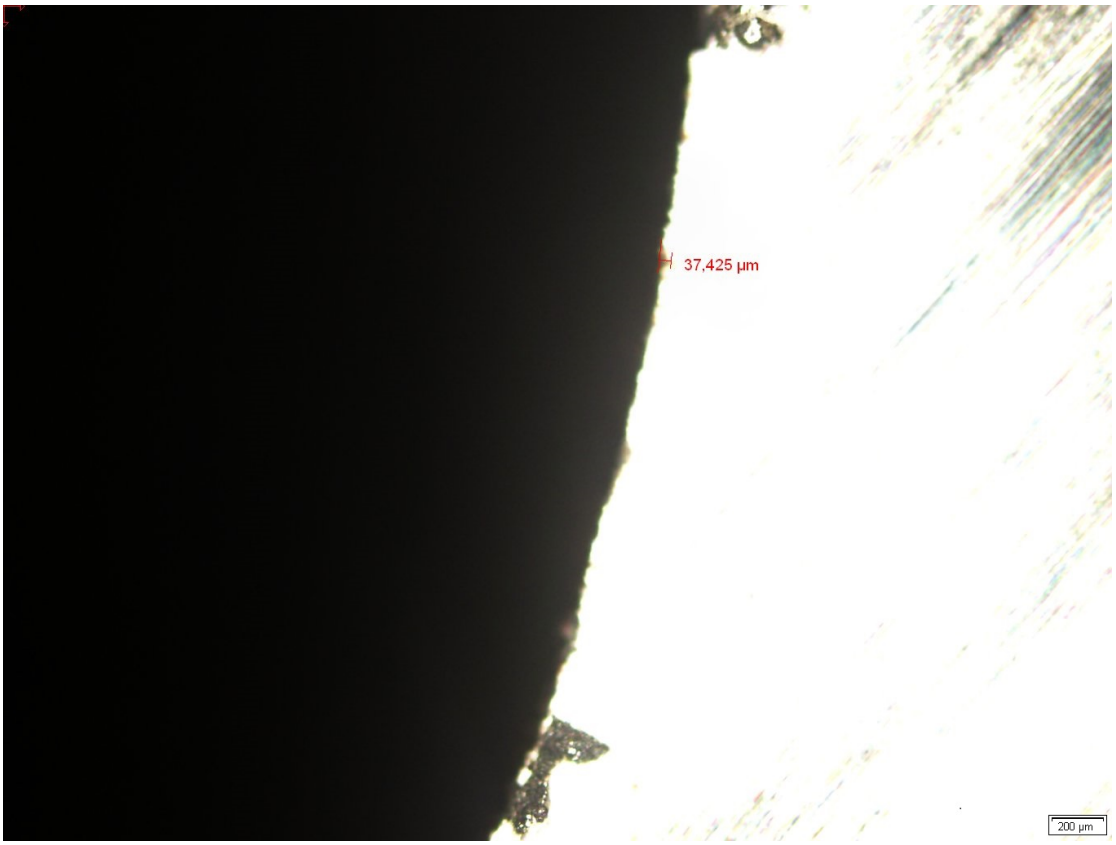
PRIMERA CONFORMACION *0.4* ± 0.1 bar *5.8* ± 1.5 PSI

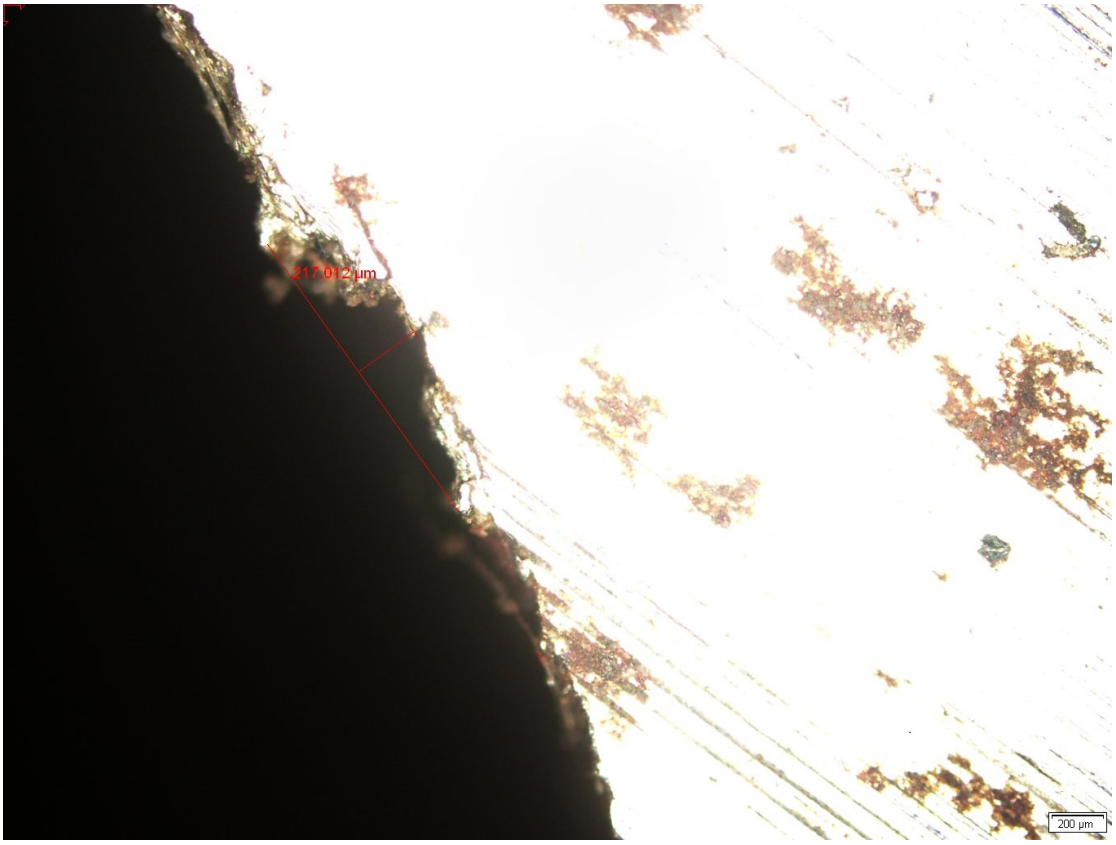
SEGUNDA CONFORMACION *0.5* ± 0.1 bar 7.3 ± 1.5 PSI

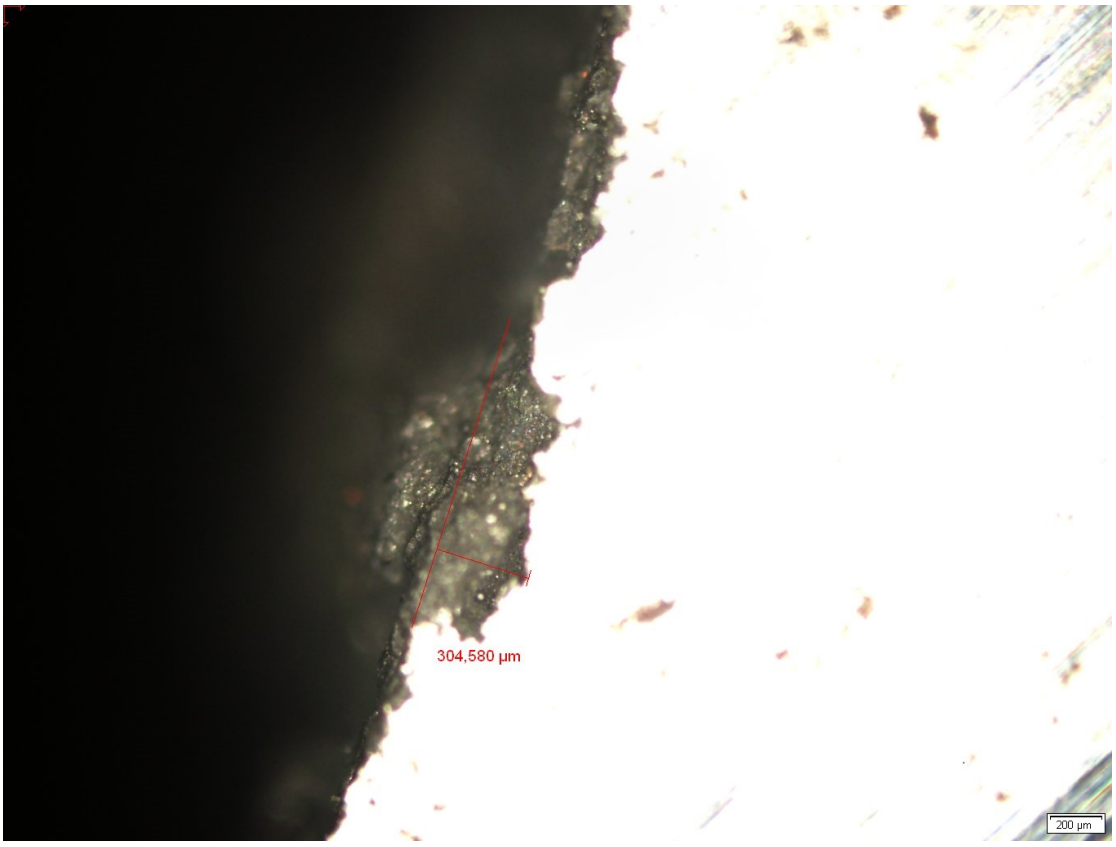
1- Si la prensa permanece abierta mas de 15 minutos, cerrarla y precalentar 30 minutos. Antes del próximo cargue.

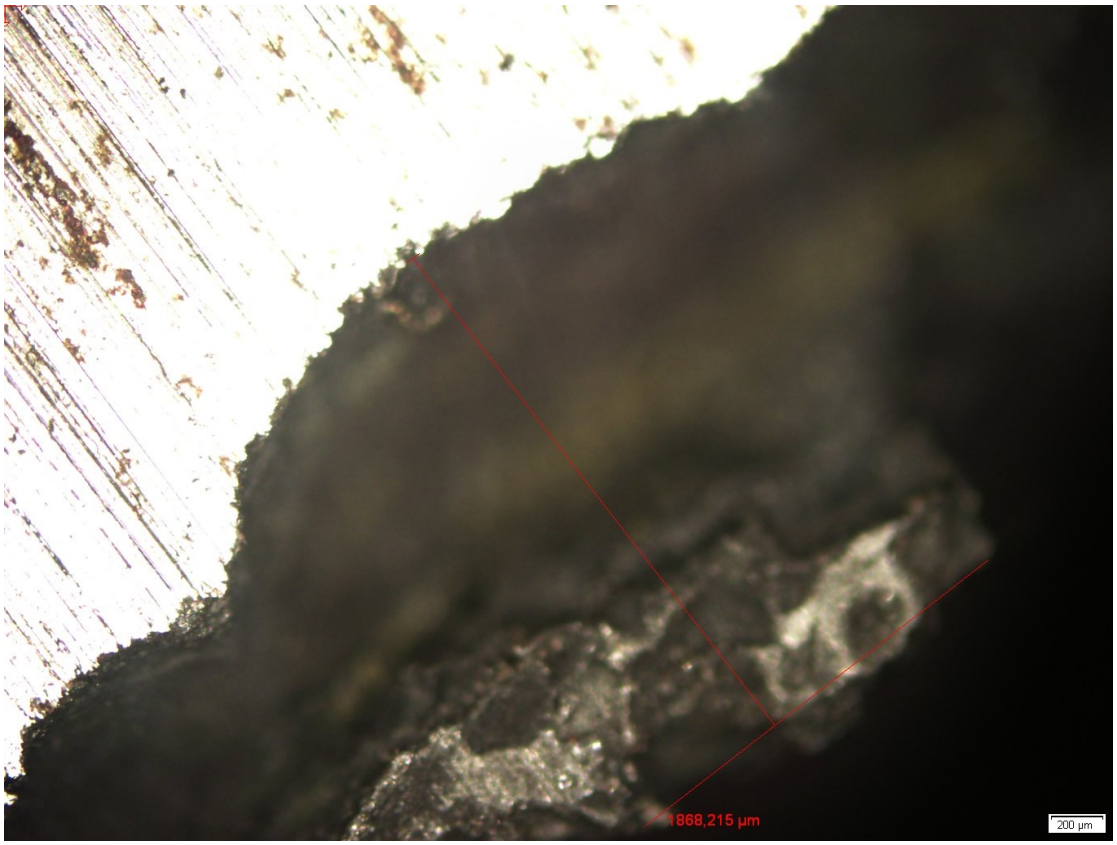
REV.	FECHA	HISTORIAL	ELABORADO	APROBADO	DISTRUBUCION
ORI	27/02/2012	SPT# 964 Construcción y vulcanización de llanta ETO #234627 y 234449	J.Carpio	P.Merchán	SUPERVISOR VULCA. (3) COLOR
1	20/11/2013	JPEZ-9DNJBK Cambio de calibre de hombro de rodamiento			ING. DE CALOR (1) COLOR
					SUPERVISOR DE MOLDES (1)
					ING. INDUSTRIAL (1)
			COPIA CONTROLADA 19/11/2014		PROGRAMACION (1)

ANEXO D – FOTOS DE PERFIL DE LAS TUBERÍAS EN LOS NIVELES DE CORROSIÓN.




217.012 µm
200 µm


304,580 µm
200 µm


1868,215 µm
200 µm

ANEXO E – CÓDIGOS DEL PROGRAMA

Como se revisó anteriormente la programación es en lenguaje grafico que es de simple explicación y comprensión pero para fines técnicos se detalla las principales líneas de programación que son repetitivos para cada Nivel de Corrosion a continuación:

< VI syntaxVersion=11 LVversion=12008004 revision=48 name=”Programa.vi” >

< TITLE > < NO_TITLE name=”Programa.vi” > < /TITLE >

< HELP_PATH > < /HELP_PATH >

< HELP_TAG > < /HELP_TAG >

< RTM_PATH type=”default” > < /RTM_PATH >

< DESC > < /DESC >

< CONTENT >

< GROUPER >

< PARTS >

< /PARTS > < /GROUPER >

< CONTROL ID=79 type=”Boolean” name=”Parar” >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=22 order=0 type=”Boolean Text” > < MLABEL > < FONT predef=APPFONT color=FF0000 > < STRINGS > < STRING > PARAR < /STRING > < /STRINGS >
< /MLABEL > < /PART >

< PART ID=82 order=0 type=”Caption” > < LABEL > < STEXT > Parar <

/STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=8020 order=0 type="ROI Tools" >

< CONTROL ID=83 type="Cluster" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< /PARTS >

< CONTENT >

< GROUPER >

< PARTS >

< /PARTS > < /GROUPER >

< CONTROL ID=79 type="Boolean" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=22 order=0 type="Boolean Text" > < MLABEL > < STRINGS > < STRING > OFF < /STRING > < STRING > ON < /STRING > < STRING > OFF < /STRING > < STRING > ON < /STRING > < /STRINGS > < /MLABEL > < /PART >

< /PARTS > < /CONTROL >

< CONTROL ID=79 type="Boolean" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< /CONTROL >

< /CONTENT >

< /CONTROL >

< /PART >

< PART ID=8021 order=0 type="Image Information" >

< CONTROL ID=83 type="Cluster" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< /PARTS >

< CONTENT >

< GROUPER >

< PARTS >

< /PARTS > < /GROUPER >

< CONTROL ID=81 type="String" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=11 order=0 type="Text" > < LABEL > < STEXT > < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS > < DEFAULT > < STRING > 1360x1024 1X 32-bit RGB image 110,70,78 (40,363) < /STRING > < /DEFAULT >

< /CONTROL >

< /CONTENT >

< /CONTROL >

< /PART >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Imagen < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< GROUPER >

< PARTS >

< CONTROL ID=80 type="Numeric" name="Nivel de co-ocurrencia" >

< DESC > < < B > > Co-occurrence Level < < /B > > specifies the number of gray levels the image is quantized to before the co-occurrence matrix is computed. The larger this value, the longer the VI will take to compute the matrix. < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Nivel de co-ocurrencia < /STEXT > < /LABEL > < /PART > < /PARTS >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=83 type="Cluster" name="Vector de desplazamiento" >

< DESC > < < B > > Displacement Vector < < /B > > specifies the distance of the neighboring pixels to consider when computing the co-occurrence matrix. < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Vector de desplazamiento < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< CONTENT >

< GROUPER >

< PARTS >

< /PARTS > < /GROUPER >

< CONTROL ID=80 type=”Numeric” name=”Delta X” >

< DESC > < < B > > Delta X < < /B > > is the size of the window in the x dimension. This value must be at least 1 and cannot be larger than the width of the < < B > > Image < < /B > > . < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=82 order=0 type=”Caption” > < LABEL > < STEXT > Delta X < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=80 type=”Numeric” name=”Delta Y” >

< DESC > < < B > > Delta Y < < /B > > is the size of the window in the y dimension. This value must be at least 1 and cannot be larger than the height of the < < B > > Image < < /B > > . < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=82 order=0 type=”Caption” > < LABEL > < STEXT > Delta Y < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< /CONTENT >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=79 type=”Boolean” name=”Entrenar” >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=22 order=0 type=”Boolean Text” > < MLABEL > < STRINGS > < STRING > Entrenar Clasificador < /STRING > < STRING > Entrenar Clasificador <

/STRING > < STRING > Entrenar Clasificador < /STRING > < STRING > Entrenar Clasificador < /STRING > < /STRINGS > < /MLABEL > < /PART >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Entrenar < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=100 type="Type Definition" name="Opciones de Vecinos Cercanos" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=8010 order=0 type="Type Def's Control" >

< CONTROL ID=83 type="Cluster" name="" >

< DESC > < < B > > Nearest Neighbor Options < < /B > > are the options to use to train the Nearest Neighbor. < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< CONTENT >

< GROUPER >

< PARTS >

< /PARTS > < /GROUPER >

< CONTROL ID=80 type="Numeric" name="k" >

< DESC > < < B > > k < < /B > > is the k value used if < < B > > Method < < /B > > is set to < < B > > K Nearest Neighbor < < /B > > . < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > k < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=87 type="Ring" name="Metric" >

< DESC > < < B > > Metric < < /B > > is the distance metric used. < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=12 order=0 type="Ring Text" > < MLABEL > < STRINGS > < STRING > Maximum < /STRING > < STRING > Sum < /STRING > < STRING > Euclidean < /STRING > < /STRINGS > < /MLABEL > < /PART >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=87 type="Ring" name="Method" >

< DESC > < < B > > Method < < /B > > is the nearest neighbor classification method used. < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=12 order=0 type="Ring Text" > < MLABEL > < STRINGS > < STRING > Nearest Neighbor < /STRING > < STRING > K Nearest Neighbor < /STRING > < STRING > Minimum Mean Distance < /STRING > < /STRINGS > < /MLABEL > < /PART >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< /CONTENT >

< /CONTROL >

< /PART >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Opciones de Vecinos Cercanos < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=87 type="Ring" name="Modo de color" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=12 order=0 type="Ring Text" > < MLABEL > < STRINGS > < STRING > RGB < /STRING > < STRING > HSL < /STRING > < STRING > HSV < /STRING > < STRING > HSI < /STRING > < /STRINGS > < /MLABEL > < /PART >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Modo de color < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< /PARTS > < /GROUPER >

< GROUPER >

< PARTS >

< CONTROL ID=94 type="XY Graph" name="Vector característico de la imagen" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=8022 order=0 type="" >

< CONTROL ID=231 type="Tree" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< GROUPER >

< PARTS >

< /PARTS > < /GROUPER >

< /PARTS >

< PRIV >

< CELL_FONTS >

[-2 -2] < FONT predef=APPFONT color=000000 >

[-1 -2] < FONT predef=APPFONT style='B' color=000000 >

< /CELL_FONTS >

< ROW_HEADER >

< /ROW_HEADER >

< COL_HEADER >

< STRING > Cursors: < /STRING >

< STRING > X < /STRING >

< STRING > Y < /STRING >

< /COL_HEADER >

< STRINGS >

< /STRINGS >

< /PRIV >

< /CONTROL >

< /PART >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Vector característico de la imagen < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< PRIV >

< PLOTS > < STRING > Plot 0 < /STRING > < /PLOTS >

< SCALE_NAMES > < STRING > Valor < /STRING > < STRING > Variables < /STRING > < /SCALE_NAMES >

< /PRIV >

< /CONTROL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > MCO_Disimilitud < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > MCO_Entropía < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > MCO_Contraste < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > MCO_Homogeneidad < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > MCO_Correlación < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > MCO_Energía < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > MCO_Pico < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Canal1_Media < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Canal1_2 ° Momento < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Canal1_3 ° Momento < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Canal1_4 ° Momento < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Canal2_Media < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Canal2_2 ° Momento < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Canal2_3 ° Momento < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Canal2_4 ° Momento < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Canal3_Media < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Canal3_2 ° Momento < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Canal3_3 ° Momento < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Canal3_4 ° Momento < /STEXT > < /LABEL >

< /PARTS > < /GROUPER >

< GROUPER >

< PARTS >

< CONTROL ID=79 type="Boolean" name="Evaluar" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=22 order=0 type="Boolean Text" > < MLABEL > < STRINGS > < STRING > Evaluar Clasificador < /STRING > < STRING > Evaluar Clasificador < /STRING > < STRING > Evaluar Clasificador < /STRING > < STRING > Evaluar Clasificador < /STRING > < /STRINGS > < /MLABEL > < /PART >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Evaluar < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=80 type="Numeric" name="Precisión:" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Precisión:

< /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< GROUPER >

< PARTS >

< CONTROL ID=82 type="Array" name="Matriz de Confusión" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Matriz de Confusión < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< DEFAULT >

< ARRAY nElems=0 >

< /ARRAY >

< /DEFAULT >

< CONTENT >

< CONTROL ID=80 type="Numeric" name="" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=82 order=0 type=”Caption” > < LABEL > < STEXT > < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< /CONTENT >

< /CONTROL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Nivel 0 < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Nivel 1 < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Nivel 2 < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Nivel 3 < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Nivel 0 < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Nivel 1 < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Nivel 2 < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Nivel 3 < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Objetivo < /STEXT > < /LABEL >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > Salida < /STEXT > < /LABEL >

< /PARTS > < /GROUPER >

< LABEL > < STEXT > < FONT predef=DLGFONT > % < /STEXT > < /LABEL >

< /PARTS > < /GROUPER >

< CONTROL ID=79 type="Boolean" name="Clasificar" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=22 order=0 type="Boolean Text" > < MLABEL > < STRINGS > < STRING > Abrir y Clasificar Imagen < /STRING > < STRING > Abrir y Clasificar Imagen < /STRING > < STRING > Abrir y Clasificar Imagen < /STRING > < STRING > Abrir y Clasificar Imagen < /STRING > < /STRINGS > < /MLABEL > < /PART >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Clasificar < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=81 type="String" name="Clase:" >

< DESC > < < B > > Class < < /B > > is the class into which the classifier session categorizes the input sample. < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=11 order=0 type="Text" > < LABEL > < STEXT > Nivel 1 - profundidad 1mm

< /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Clase:

< /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< DEFAULT > < STRING > < /STRING > < /DEFAULT >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=81 type="String" name="Nombre de la imagen:" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=11 order=0 type="Text" > < LABEL > < STEXT > Imagen DF.jpg < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Nombre de la imagen: < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< DEFAULT > < STRING > < /STRING > < /DEFAULT >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=80 type="Numeric" name="Distancia:" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Distancia: < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=79 type="Boolean" name="Muy alta" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=22 order=0 type="Boolean Text" > < MLABEL > < STRINGS > < STRING > OFF < /STRING > < STRING > ON < /STRING > < STRING > OFF < /STRING > < STRING > ON < /STRING > < /STRINGS > < /MLABEL > < /PART >

< PART ID=82 order=0 type="Caption" > < LABEL > < STEXT > Muy alta < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< /CONTENT >

< BDCONTENT >

< NODE ID=33 type="While Loop" >

< DESC > < /DESC >

< BDCONTENT >

< NODE ID=58 type="Build Array" >

< DESC > < /DESC >

< /NODE >

< NODE ID=47 type="Function" primID=23535442 primName="Boolean Array To Number" >

< DESC > < /DESC >

< /NODE >

< CONTROL ID=80 type="Numeric Constant" name="millisecond multiple" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< /PARTS >

< /CONTROL >

< NODE ID=47 type="Function" primID=49544157 primName="Wait Until Next ms Multiple" >

< DESC > < /DESC >

< /NODE >

< NODE ID=44 type="Select" >

< DESC > < /DESC >

< BDCONTENT >

< /BDCONTENT >

< BDCONTENT >

< CONTROL ID=82 type="Array Constant" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< /PARTS >

< DEFAULT >

< ARRAY nElems=0 >

< /ARRAY >

< /DEFAULT >

< CONTENT >

< CONTROL ID=81 type="String Constant" name="name or relative path" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=11 order=0 type="Text" > < LABEL > < STEXT > < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< DEFAULT > < SAME_AS_LABEL > < /DEFAULT >

< /CONTROL >

< /CONTENT >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=81 type="String Constant" name="name or relative path" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=11 order=0 type="Text" > < LABEL > < STEXT > - profundidad 3mm < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< DEFAULT > < SAME_AS_LABEL > < /DEFAULT >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=81 type="String Constant" name="name or relative path" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=11 order=0 type="Text" > < LABEL > < STEXT > - profundidad 2mm < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< DEFAULT > < SAME_AS_LABEL > < /DEFAULT >

< /CONTROL >

< CONTROL ID=81 type="String Constant" name="name or relative path" >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=11 order=0 type="Text" > < LABEL > < STEXT > - profundidad 1mm < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< DEFAULT > < SAME_AS_LABEL > < /DEFAULT >

< /CONTROL >

< NODE ID=58 type="Build Array" >

< DESC > < /DESC >

< /NODE >

< CONTROL ID=81 type=”String Constant” name=”name or relative path” >

< DESC > < /DESC >

< TIP > < /TIP >

< PARTS >

< PART ID=11 order=0 type=”Text” > < LABEL > < STEXT > - profundidad 0mm < LF >

20% martencita < LF >

30% neotita < LF >

50% corrosión < /STEXT > < /LABEL > < /PART >

< /PARTS >

< DEFAULT > < SAME_AS_LABEL > < /DEFAULT >

< /CONTROL >

< NODE ID=49 type=”SubVI” subVIName=”Application Directory.vi” >

< DESC > < /DESC >

< /NODE >

< /BDCONTENT >

< /NODE >

< /BDCONTENT >

< /NODE >

< /BDCONTENT >

< /VI >

ANEXO F – CORPUS DE IMÁGENES

Para revisar el corpus de imágenes ver el CD de memorias.