

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIÓN
ARTIFICIAL PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR
RADIOGRAFÍA EN SOLDADURA**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

NARVÁEZ ARTEAGA CRISTINA ELIZABETH
crisn_13@outlook.com

ALEMÁN FREIRE JONATAN VINICIO
jonatan_aleman@hotmail.com

DIRECTOR: Ing. MARIO GERMÁN GRANJA RAMÍREZ, MSc.
mario.granja@epn.edu.ec

Quito, Noviembre 2016

© Escuela Politécnica Nacional (2016)

Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Nosotros, CRISTINA ELIZABETH NARVÁEZ ARTEAGA, JONATAN VINICIO ALEMÁN FREIRE, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Cristina Elizabeth Narvárez Arteaga

Jonatan Vinicio Alemán Freire

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por CRISTINA ELIZABETH NARVÁEZ ARTEAGA y JONATAN VINICIO ALEMÁN FREIRE, bajo mi supervisión.

Certificación

Ing. Mario Granja. MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

En primera instancia, quiero agradecer a mi madre, Sonia Freire, por el respaldo total e incondicional que he recibido a lo largo de mi vida, las palabras fuertes y regaños en mis altos y bajos, "Sin tu apoyo Mami, nada de lo que he logrado y soy hubiese sido posible".

A mis hijos, Emily Leticia y Jonatan Ariel por quien cada día de mi vida universitaria ha tenido sentido, por ser el motivo de todo mi esfuerzo y dedicación en estos últimos años.

A mis hermanos, que a pesar de la no tan excelente relación que tenemos, hemos compartido muchas adversidades nos ha llevado a ser no los mejores hermanos sino buenos compañeros de vida.

A mis abuelos, tíos y primos que de alguna forma han formado parte del trajinar de mi vida, siendo las guías para formarme como mejor persona. En especial a mi tíos y padrinos Marcelo, Elsa Freire que siempre han velado por mi bienestar y a mi madrina Irene Almeida por ser como una madre desde cuando tengo uso de razón.

Quiero agradecer a los ingenieros, Mario Granja, Verónica Sotomayor, Mauricio Cely y Ricardo Soto, por ser guías fundamentales en la realización de este proyecto y de la formación profesional como ingeniero mecánico.

Agradezco al Ing. Nikolas Chang, por ser un guía y apoyo para este proyecto, que con sus conocimientos y paciencia pudo encaminarnos de la mejor manera en esta investigación, gracias gran amigo Niko.

Agradezco a los ingenieros que a lo largo de mi vida universitaria impartieron sus conocimientos y experiencias, para formarme como excelente persona y profesional de la mejor universidad del Ecuador la Escuela Politécnica Nacional.

No puede faltar el agradecimiento a mis amigos y compañeros de la mejor facultad del mundo, a Gaby C., Gaby S., Edith T., Santiago R., Francisco A., entre otros, a mis panas de la Selección de Fútbol, Básquet, Banana Mecánica, que en cada lugar y tiempo han sido un apoyo en la etapa estudiantil.

Finalmente, agradezco a mi gran amiga y compañera, Cristina Narváez que, con su dedicación y apoyo, hemos alcanzado este gran logro de ser ingenieros mecánicos.

"Ingeniería Mecánica desde 1961, volvería a estudiar aquí".

Jonatan Vinicio Alemán Freire

AGRADECIMIENTO

Comienzo este agradecimiento con Dios, por mantenerme a salvo durante todo este tiempo, por guiar mis pasos y por poner en mi camino toda clase de nuevos retos.

Agradezco a mis Padres Jorge y Julia por darme la oportunidad de estar aquí, y de convertirme en la mujer que soy, por su apoyo incondicional, por su aliento y la confianza que me brindaron, no solo para que este sueño sea una realidad, sino durante toda mi vida.

A mi hermana Jessy, por ser un gran ejemplo a seguir, por dedicar su tiempo y paciencia en aquellos momentos de debilidad, por su amistad y compañía, por preocuparse de mi bienestar y por estar al rescate.

A mi amorosito Javier B. por el tiempo y los momentos compartido, por mimarme y cuidarme, por ser el mejor de mis amigos, por brindarme su consejo, pero sobre todo por aguantarme.

A los amigos, la familia que se elige, porque a pesar de conocerme tan bien, me quieren, gracias Andre C. Gaby C. Roberto N. y Vane A., por estar conmigo siempre que les necesito.

A los ingenieros que han guiado este proyecto, Mario Granja, Verónica Sotomayor, Mauricio Cely y Ricardo Soto. Especialmente al Ing. Nikolas Chang por haber compartido sus conocimientos, tiempo y amistad.

Agradezco a mi compañero y amigo, Jonatan Alemán, por todo el apoyo incondicional para esta tesis que nos llevará a ser Ingenieros Mecánicos de la mejor facultad del mundo.

Un agradecimiento muy especial a mi gatita Luna, quien sin decir nada supo cómo darme aliento en todo este trayecto universitario, por desvelarse conmigo siempre y recordarme tiernamente que ya es hora de ir a dormir.

Cristina Elizabeth Narváez Arteaga

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación, se lo dedico a cuatro personas principales, las cuales han sido los pilares fundamentales en los que me enfocado para mi desarrollo como persona y como profesional.

Dedico este logro obtenido a mi madre Sonia Freire, por ser la mujer más entregada por velar por el bienestar y felicidad de sus hijos, en toda instancia de su vida, mujer que no ha descansado por vernos triunfar y felices, la mujer que me ha enseñado a ser la persona más rigurosa, constante y amorosa, mujer que ha formado un caballero con todo el rigor de la palabra, te amo.

A mis hijos Emily y Ariel, por ser los niños que me han sacado grandiosas y sinceras sonrisas con su inocencia y amor, mis chiquititos, por los cuales he derramado lágrimas y me esforzado cada día más por verlos felices, mi mayor logro es verlos sonreír.

Jonatan Vinicio Alemán Freire

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi madre Julia Arteaga, la mujer que con su incansable sacrificio y amor, pudo hacer de sus hijas, personas de quienes sentirse orgullosa, por el abrazo y regaño oportuno, porque este más que ser mi logro, es el suyo; a mi hermana, por ser ejemplo e incentivo, por la guía y confianza depositada en mí, para seguir adelante en todos los aspectos de mi vida; a mi amorosito, por todo lo que hemos vivido juntos, los buenos y malos momentos, que me han hecho crecer como ser humano, y a Lunita por el cariño sincero e incondicional que me demuestra cada día.

Cristina Elizabeth Narváez Arteaga

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----|
| Declaración | i |
| Certificación | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Dedicatoria..... | vi |
| Resumen | xiv |
| Abstract..... | xv |
| Presentación | xvi |
| | |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| 1. Generalidades | 1 |
| 1.1. Generalidades de la mecatrónica | 1 |
| 1.1.1. Historia de la mecatrónica | 1 |
| 1.1.2. Origen y evolución de la inteligencia artificial. | 3 |
| 1.1.3. Aplicaciones de la inteligencia artificial..... | 4 |
| 1.2. Generalidades de visión artificial | 8 |
| 1.2.1. Aplicaciones de un sistema de visión artificial | 9 |
| 1.3. Radiografía industrial | 11 |
| 1.3.1. Historia de los rayos x | 12 |
| 1.3.2. Historia de los rayos gamma | 13 |
| 1.3.3. Aplicaciones de la radiografía industrial | 14 |
| | |
| CAPÍTULO 2 | 15 |
| 2. Marco teórico..... | 15 |
| 2.1. Visión artificial | 15 |
| 2.1.1. Concepto | 15 |
| 2.1.2. Objetivos de la visión artificial..... | 16 |
| 2.1.3. Bases científicas y características..... | 16 |
| 2.1.4. Métodos de captación de las imágenes..... | 19 |

| | |
|--|--------|
| 2.1.5. Elementos para desarrollar el sistema..... | 21 |
| 2.2. Radiografía | 27 |
| 2.2.1. Origen de los rayos x y rayos gamma | 27 |
| 2.2.2. Variables..... | 28 |
| 2.2.3. Revelado de películas radiográficas | 35 |
| CAPÍTULO 3..... | 36 |
| 3. Procesamiento de imágenes | 36 |
| 3.1. Técnicas de ensayos no destructivos más habituales. | 36 |
| 3.2. Alternativas de criterios de normas para aceptación y rechazo en discontinuidades presentes en radiografías de soldadura | 37 |
| 3.2.1. Alternativa A: criterios de aceptación y rechazo en radiografías según la norma ASME IX..... | 38 |
| 3.2.2. Alternativa B: criterios de aceptación y rechazo en radiografías según la norma API 1104. | 42 |
| 3.2.3. Alternativa C: criterios de aceptación y rechazo en radiografías según la norma AWS D1.1. | 50 |
| 3.3. Selección de alternativa de criterios de normas para aceptación y rechazo en discontinuidades presentes en radiografías de soldadura. | 52 |
| 3.4. Alternativas de lenguaje de programación..... | 53 |
| 3.4.1. Alternativa A: lenguaje de programación VISUAL BASIC..... | 55 |
| 3.4.2. Alternativa B: lenguaje de programación GNU OCTAVE. | 56 |
| 3.4.3. Alternativa C: lenguaje de programación MATLAB®..... | 58 |
| 3.4.4. Alternativa D: lenguaje de programación PYTHON..... | 61 |
| 3.5. Selección de alternativa de lenguaje de programación..... | 63 |
| 3.6. Rangos para el procesamiento de radiografías | 64 |
| 3.6.1. Clasificación de discontinuidades según la forma | 64 |
| 3.6.2. Clasificación de discontinuidades no circulares..... | 66 |
| 3.6.3. Dimensiones del cordón. | 68 |
| CAPÍTULO 4..... | 72 |
| 4. Desarrollo del software..... | 72 |

| | |
|---|-----|
| 4.1. Introducción | 72 |
| 4.2. Comandos utilizados en tratamiento de imagen | 72 |
| 4.3. Programación del sistema de visión artificial | 74 |
| 4.4. Simulación del software | 79 |
| 4.5. Manual de usuario. | 83 |
| 4.5.1. Introducción | 83 |
| 4.5.2. Teoría de funcionamiento. | 83 |
| 4.5.3. Generalidades del sistema | 84 |
| 4.5.4. Procedimiento para análisis de fotografías de radiografías | 91 |
| 4.5.5. Manejo de errores..... | 96 |
| 4.5.6. Soporte técnico..... | 97 |
| 4.5.7. Glosario | 98 |
| | |
| CAPÍTULO 5..... | 99 |
| | |
| 5. Análisis de resultados..... | 99 |
| 5.1. Introducción | 99 |
| 5.2. Pruebas | 99 |
| 5.2.1. Radiografía n.- 1 | 99 |
| 5.2.2. Radiografía n.- 2..... | 101 |
| 5.2.3. Radiografía n.- 3..... | 102 |
| | |
| CAPÍTULO 6..... | 105 |
| | |
| 6. Conclusiones y recomendaciones | 105 |
| Conclusiones..... | 105 |
| Recomendaciones..... | 106 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 108 |
| | |
| ANEXOS..... | 111 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1-1. Máquina de Turing..... | 2 |
| Figura 1-2. Robot Asimo. | 5 |
| Figura 1-3. Robot Curiosity de la NASA..... | 8 |
| Figura 1-4. Integrador artificial. | 9 |
| Figura 1-5. Inspección de llantas para ruedas de vehículos. | 10 |
| Figura 1-6. Primera Radiografía..... | 13 |
| Figura 1-7. Placa Radiográfica de una Soldadura. | 14 |
| Figura 2-1. Placa Radiográfica de una Soldadura. | 16 |
| Figura 2-2. Proceso de la visión artificial en la industria. | 18 |
| Figura 2-3. Resolución de imagen pixel..... | 19 |
| Figura 2-4. Tonos de grises. | 20 |
| Figura 2-5. Imagen binaria..... | 20 |
| Figura 2-6. Sistema de visión artificial. | 21 |
| Figura 2-7. Componentes de un sistema de visión artificial..... | 22 |
| Figura 2-8. Sistemas de iluminación. | 23 |
| Figura 2-9. Cámara lineal. | 25 |
| Figura 2-10. Espectro electromagnético. | 28 |
| Figura 2-11. Efectos de la Geometría Objeto-Película..... | 32 |
| Figura 2-12. Ley de la inversa del cuadrado de las distancias. | 33 |
| Figura 2-13. Diagrama de operación de la máquina de rayos x, lab. END. .. | 34 |
| Figura 3-1. Distribución máxima de porosidades para espesores de pared menores o iguales a 12.7 mm..... | 46 |
| Figura 3-2. Distribución máxima de porosidades para espesores de pared mayores a 12.7 mm. | 47 |
| Figura 3-3. Quemón o escoria según área perímetro. | 66 |
| Figura 3-4. Ancho del cordón y sus zonas..... | 70 |
| Figura 3-5. Resumen de Rangos..... | 71 |
| Figura 4-1. Imagen Probeta_B1.jpg..... | 74 |
| Figura 4-2. Imagen binaria de cordón de soldadura. | 75 |
| Figura 4-3. Imagen binaria invertida los colores. | 75 |
| Figura 4-4. Imagen binaria cerrada..... | 76 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4-5. Imagen procesada con etiqueta. | 76 |
| Figura 4-6. Imagen etiquetada con métrica de forma. | 78 |
| Figura 4-7. Imagen evaluada en el software. | 79 |
| Figura 4-8. Acceso directo MATLAB® 2016 | 79 |
| Figura 4-9. Introducción del software. | 80 |
| Figura 4-10. Inicio del programa ALEMAN_NARVAEZ..... | 80 |
| Figura 4-11. Cordón seleccionado de imagen radiográfica..... | 81 |
| Figura 4-12. Ajuste de sensibilidad de la imagen..... | 82 |
| Figura 4-13. Radiografía evaluada e interpretada..... | 82 |
| Figura 4-14. Diagrama de clasificaciones de Formas detectadas en una imagen radiográfica. | 84 |
| Figura 4-15. Ventana INTRODUCCION. | 85 |
| Figura 4-16. Ventana ALEMAN_NARVAEZ..... | 85 |
| Figura 4-17. Subsección IMAGEN RADIOGRÁFICA..... | 86 |
| Figura 4-18. Subsección CORDÓN SELECCIONADO sin análisis. | 87 |
| Figura 4-19. Subsección CORDÓN SELECCIONADO analizado..... | 87 |
| Figura 4-20. Botón Cargar Imagen. | 88 |
| Figura 4-21. Longitud de la Toma Fotografiada..... | 88 |
| Figura 4-22. Espesor de la Placa Radiografiada..... | 88 |
| Figura 4-23. Botón Seleccionar Cordón..... | 89 |
| Figura 4-24. Sensibilidad de Imagen. | 89 |
| Figura 4-25. Botón Evaluar. | 90 |
| Figura 4-26. Botón Salir. | 90 |
| Figura 4-27. Subsección QUEMÓN. | 90 |
| Figura 4-28. Ventana Abrir..... | 91 |
| Figura 4-29. Selección de cordón Correcta e Incorrecta..... | 93 |
| Figura 4-30. Selección Correcta e Incorrecta de la Sensibilidad. | 93 |
| Figura 4-31. Sección RESULTADOS..... | 95 |
| Figura 4-32. ADVERTENCIA Ingreso erróneo en los campos editables..... | 96 |
| Figura 4-33. ADVERTENCIA No selección de sensibilidad. | 97 |
| Figura 5-1. Datos Obtenidos Software Radiografía N.- 1..... | 100 |
| Figura 5-2. Datos Obtenidos Software Radiografía N.- 2..... | 101 |
| Figura 5-3. Datos Obtenidos Software Radiografía N.- 3_A. | 102 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 3-1. Aplicación de los diferentes ensayos no destructivos (END). | 36 |
| Tabla 3-2. Criterios de selección para aceptación y rechazo en discontinuidades presentes en radiografía de soldadura. | 37 |
| Tabla 3-3. QW-191.2 | 40 |
| Tabla 3-4. Criterios de selección para ASME sección IX. | 41 |
| Tabla 3-5. Criterios de selección para API 1104. | 49 |
| Tabla 3-6. Criterios de selección para AWS D1.1. | 51 |
| Tabla 3-7. Selección de la alternativa para criterios de aceptación o rechazo de radiografías en soldadura. | 52 |
| Tabla 3-8. Normalizada. | 52 |
| Tabla 3-9. Resultados de selección. | 53 |
| Tabla 3-10. Criterios de selección. | 54 |
| Tabla 3-11. Criterios de selección para Visual Basic. | 56 |
| Tabla 3-12. Criterios de selección para GNU Octave. | 57 |
| Tabla 3-13. Criterios de selección para MATLAB®. | 60 |
| Tabla 3-14. Criterios de selección para Python. | 62 |
| Tabla 3-15. Selección de la alternativa para elaboración de software. | 63 |
| Tabla 3-16. Normalizada. | 63 |
| Tabla 3-17. Resultados de selección. | 64 |
| Tabla 3-18. Defecto vs. Métrica | 65 |
| Tabla 3-19. Relaciones de forma, no circulares. | 67 |
| Tabla 3-20. Dimensiones del cordón. | 68 |
| Tabla 3-21. Posición de discontinuidades alargadas. | 69 |
| Tabla 5-1. Datos Obtenidos Radiografía N.- 1. | 99 |
| Tabla 5-2. Datos Obtenidos Radiografía N.- 2. | 101 |
| Tabla 5-3. Datos Obtenidos Radiografía N.- 3_A. | 102 |
| Tabla 5-4. Datos Obtenidos Radiografía N.- 3_B. | 103 |
| Tabla 5-5. Datos Obtenidos Radiografía N.- 3_C. | 103 |

RESUMEN

La visión artificial es un campo aplicativo a la ingeniería, en procesos repetitivos y muchas veces peligros en la industria, condicionados por la destreza humana. El presente proyecto investigativo busca desarrollar una herramienta importante para el uso en los ensayos no destructivos, en la identificación de discontinuidades con un software que permita el procesamiento de imágenes en el proceso de radiografía industrial, con la recopilación de criterios de aceptación de discontinuidades de acuerdo a la Norma API 1104, para luego realizar el procesamiento de imagen en películas radiográficas con la ayuda del lenguaje de programación MATLAB®, que permite una gran versatilidad en procesamiento y análisis de datos e imágenes, dando una respuesta eficaz, rápida y fácil, ofreciendo una herramienta con una interfaz gráfica muy amigable para el usuario. El software elaborado identifica forma, área, perímetro de las figuras mostradas en la película radiográfica de soldadura que, a través de filtros de imagen y relaciones de métricas de área y perímetro, distinguen el contorno de las discontinuidades, para su análisis y aceptación de acuerdo a la norma en uso. El programa será implementado en el laboratorio de Ensayos No Destructivos de la facultad de Ingeniería Mecánica, para el uso de los estudiantes que cruzan dicha cátedra, para la interpretación y mejor aprendizaje de los procedimientos de radiografía industrial. El proyecto está destinado a optimizar y facilitar procesos de ensayos no destructivos, disminuyendo el cansancio laboral para el usuario en la interpretación de defectos de soldadura en la industria radiográfica.

Palabras clave:

Visión artificial, radiografía industrial, discontinuidades en soldadura, tratamiento de imagen, MATLAB®.

ABSTRACT

The artificial vision is an applicative field in engineering, applied o repetitive and sometimes dangerous processes in the industry. The present investigative project searches to develop an important tool to use in the nondestructive essays, in the identification of discontinuities with a software that allow the processing of the images in Industrial Radiography with the recompilation of acceptance criteria of discontinuities according to API 1104. In order to process the image in radiographic films with the help of the language program of MATLAB, that allows a great versatility of image processing and data analysis, giving an efficient response, fast and easy to understand, offering a tool with a graphic interface very friendly with the user. The software made identifies the form, area, perimeter of the shown figures in the radiographic film of welding that, through image filter and metric relationships of area and perimeter, distinguish the contour of the discontinuities to analyze them and evaluate them according to the norm. The program will be implemented in the Nondestructive Essays laboratory of the Mechanical Engineering School, to the use of the students that are taking the subject in order to interpret better the knowledge of the proceedings of industrial radiography. The project is focused to optimize and to ease the process of the nondestructive essays, decreasing the work fatigue to the user in the interpretation of the defects of the welding in the radiographic industry.

Keywords:

Artificial vision, industrial radiography, welding discontinuities, image processing, MATLAB®.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto de investigación consta con la siguiente estructura expuesta a continuación:

En el capítulo 1 se muestra el planteamiento del problema, objetivos, generalidades, reseña histórica de la visión artificial, como del proceso radiográfico.

En el capítulo 2 se plantean las características afines a la visión artificial, así como métodos de captación y reconocimiento de imágenes, como también de la caracterización del procedimiento de la radiografía industrial aplicada a la soldadura en metales para su interpretación.

En el capítulo 3 se hace referencia a las alternativas de lenguaje de programación, procesamiento e interpretación en imágenes, así también los criterios de aceptación e identificación de los principales defectos de soldadura según las normas vigentes en la industria ecuatoriana, usando métodos de ponderación para su elección.

En el capítulo 4 se expone el desarrollo del software de acuerdo al lenguaje de programación en MATLAB®, explicando su codificación en el tratamiento de las imágenes radiográficas, se simula e interpreta los resultados en la interfaz gráfica en base del manual de usuario también descrito.

En el capítulo 5, se efectúa el análisis de resultados obtenidos desde los parámetros de aceptación de acuerdo a la norma API 1104, interpretando los criterios y límites con los cuales se evaluó cada defecto en el software.

Finalizando en el capítulo 6, se muestra las conclusiones y recomendaciones conforme con el estudio realizado durante el proyecto.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. GENERALIDADES DE LA MECATRÓNICA

A través de los últimos tiempos, la mecatrónica ha jugado un papel importante en el desarrollo de la tecnología, no solo por ser una ciencia que consolida ingenierías como la mecánica, electrónica, sistemas y control, sino por los avances que ha proporcionado a las actividades del ser humano tanto en la producción como en la sistematización de procesos industriales.

La mecatrónica busca además de una adecuada integración máquina-hombre, producir mecanismos inteligentes autónomos, capaces de realizar tareas de forma ágil y de alta confiabilidad.

1.1.1. HISTORIA DE LA MECATRÓNICA

Como la mecatrónica abarca un conjunto de ingenierías se puede decir que surge como una consecuencia de la revolución industrial, creando no solo un nuevo ambiente tecnológico, sino dando un paso gigantesco de la percepción de la industria, especialmente con la compactación de los elementos electrónicos.

Mecatrónica, el termino como tal, es definido como “la integración de la mecánica y la electrónica en una maquina o producto”, por el ingeniero TetsuroMori en 1969, que pertenecía a la empresa Yaskawa en Japón.

Más tarde J.A. Rietdijk modifica este concepto por: “Mecatrónica es la combinación sinérgica de la ingeniería mecánica de precisión, de la electrónica, del control automático y de los sistemas para el diseño de productos y procesos”.

Dentro de la historia aparecen grandes genios y sus inventos que dan cabida a la instauración de la mecatrónica. Entre ellos tenemos:

Alan Turing, considerado como el precursor de informática moderna, fue quien con la máquina que lleva su nombre dió un concepto formal de lo que es algoritmos y computación.



Figura 1-1. Máquina de Turing.
(Fuente: Bermúdez, S., 2011, Pág. 1)

Norbet Wiener, matemático de Estados Unidos, es conocido como el fundador de la cibernética, teoría centrada en la interrelación de la máquina con el hombre.

Walter Brattain, John Bardeen Y William Shockley crean el primer transistor en 1947, que reemplazó a la válvula termoiónica.

George Devol desarrolla máquinas de control numérico, un sistema de automatización por medio de comandos programados en un medio de almacenamiento. En 1945 patenta un manipulador programable, el mismo que dará lugar al robot industrial.

Jack Kilby, ingeniero eléctrico estadounidense, en 1959 concibe el microchip, que conduce a la producción de microprocesadores.

Steve Jobs y Steven Wozniak fabrican el primer computador Apple en 1975, el ordenador mejor vendido. En ese mismo año Bill Gates y Paul Allen fundan la compañía de Microsoft, el sistema operativo más usado en el mundo.

La ciencia sigue su curso a favor del avance tecnológico y por ende de la mecatrónica y actualmente hay investigaciones que colocan al grafeno como un material altamente versátil, su estructura permite que sea utilizado en procesadores, pantallas táctiles e incluso en paneles solares, posee una alta conductividad y bajo costo, lo que lo hace un potencial remplazo del silicio.

1.1.2. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

La inteligencia artificial va de la mano con el origen de las computadoras, desde 1945 a 1956, pasando por científicos como Wiener con la cibernética y McCulloch junto a Pitts creando el primer modelo neuronal moderno, dan paso a que Hebb aborde temas de medios de aprendizaje. Es entonces donde en 1950 Turing propone un test:

“Disponemos a un humano y a una máquina en habitaciones diferentes. Un observador les hace una serie de preguntas a uno y a otro a través de la puerta. Si pasado un cierto tiempo el observador no es capaz de determinar quién es el humano y quien la máquina. Podemos concluir diciendo que la máquina posee inteligencia.” (Escolano, F. Cazorla, M. Alfonso, M. Colomina, O. y Lozano, M. Inteligencia Artificial. 2003. Pág. 4)

En 1956 otro grupo de científicos se basan en la idea de que es posible definir con precisión el aprendizaje y que se lo puede simular a través de una máquina, es cuando aparece el *Logic theorist*, llevando a la investigación a la búsqueda de la resolución de problemas específicos y posteriormente en 1958 surge el LISP (*List Processing*), un lenguaje de programación creado con notación matemática compuesto de listas, con la capacidad de aprendizaje. Se cierra esta etapa con el programa SAINT (*Symbolic Automatic Integrator*), el primer programa de Juegos y avances de reconocimiento de patrones.

Desde 1965 a 1970 se diseñan programas capaces de predecir las probabilidades con ciertas condiciones, proyectos que cooperaban con químicos, ingenieros, etc. en la solución de ecuaciones matemáticas.

A partir de 1975 la inteligencia artificial por medio de sistemas expertos como EMYCIN, EXPERT, OPSS, etc. da un salto a la industria y trata de hacerlos más amigables y funcionales.

Ya en la época actual la inteligencia artificial ha llegado a tal punto que empieza a frecuentarse en la vida cotidiana, aunque se esperaría que esté presente principalmente en actividades industriales, diariamente convivimos con teléfonos inteligentes que poseen reconocimiento facial o de voz; autos, cohetes y un sin número de máquinas autónomas capaces de prevenir y actuar ante diferentes situaciones.

1.1.3. APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Inteligencia Artificial por su gran adaptación presenta muchas ramas en las que se la puede aplicar, actualmente la industria crece y con ella la necesidad de cumplir con tareas más precisas y ocupando el menos tiempo posible.

1.1.3.1. Inteligencia Artificial en la Robótica

La inteligencia artificial va entrelazada plenamente con la robótica, cada vez se les atribuyen a los robots comportamientos más humanos, en el ámbito de ser capaces de tomar decisiones frente a varios problemas, convirtiéndose en un robot la representación más exacta de lo que es la inteligencia artificial.



Figura 1-2. Robot Asimo.
(Fuente: Arenas, J., 2009)

1.1.3.2. Inteligencia Artificial en la Medicina

En esta área se han desarrollado máquinas capaces de interpretar imágenes médicas, control y monitoreo de pacientes e incluso se ha llegado a la realización de diagnósticos. Prótesis capaces de responder a estímulos musculares, reproduciendo de esta forma una parte del cuerpo no solo a nivel físico, sino también a nivel funcional.

Actualmente se ha desarrollado una técnica que aplica inteligencia artificial a unos chips que empiezan a usarse para análisis genético de muestra, los denominados "biochips", y que les permite distinguir con rapidez entre varios tipos de cáncer

1.1.3.3. Inteligencia Artificial en la Educación

Entre las aplicaciones que se puede dar de la inteligencia artificial a la educación se diferencian dos grandes ramas. Las de los micro mundos, y los

tutoriales inteligentes, herramienta que facilita el desarrollo del sujeto y la construcción de aprendizaje mediante procesos de descubrimiento.

También existen sistemas que puedan percibir las deficiencias de un estudiante y ayudar en su desenvolvimiento.

1.1.3.4. Inteligencia Artificial en el Entretenimiento

La inteligencia artificial se la puede observar claramente en los videojuegos, es cada vez más indispensable tanto en consolas como en ordenadores, la podemos ver reflejada en los famosos avatares, comiquitas y textos.

1.1.3.5. Inteligencia Artificial de Gestión de Información

Esta parte es fundamental ya que la inteligencia artificial nos permite extraer información muy difícil de encontrar o quizás que requiera de mucho esfuerzo para conseguirla, un ejemplo de ello son los rastreos web, filtrado de correos y la minería de los datos.

1.1.3.6. Inteligencia Artificial en la Gestión del Tráfico, Diseño Urbano y Arquitectura

Aquí la inteligencia artificial ha realizado varios aportes, resolución de distintos problemas de diseño que presentan múltiples restricciones, como también predecir el comportamiento ya sea de personas como de sistemas arquitectónicos o maquinaria.

1.1.3.7. Inteligencia Artificial en la Ley

La capacidad de la inteligencia artificial no tiene límites y en esta área se ha creado sistemas de identificación de personas con solo rasgos similares, huellas, o algún otro dato importante que permite hacer un reconocimiento con mayor exactitud.

1.1.3.8. Inteligencia Artificial en Instituciones Militares

En el ámbito de la milicia se han creado softwares capaces de crear estrategias de guerra y predecir el comportamiento del enemigo. Otro aspecto donde se utiliza la inteligencia artificial es en vigilancia, he incluso se desea crear robot que suplan a los militares para la guerra.

1.1.3.9. Inteligencia Artificial en el Espacio

La NASA ha tenido la necesidad de realizar estudios más profundos en otras partes del Universo, por eso ha mezclado la robótica y la inteligencia artificial para conseguir información a través de máquinas razonables. En su mayoría se usan mecanismos pequeños y basados en carros con cámaras y micrófonos que le permitan llegar a lugares de difícil acceso y adquiriendo los datos requeridos.



Figura 1-3. Robot Curiosity de la NASA.
(Fuente: Fuente Latina, 2012)

1.2. GENERALIDADES DE VISIÓN ARTIFICIAL

A través de los años, la visión humana ha sido crítica en la actividad laboral ya que la precisión del ojo humano está sujeto a fuentes de error que reducen notablemente su eficacia en el proceso productivo, en tal virtud es incomparable para un sistema de visión artificial. La fatiga visual y la monotonía de las actividades de verificación, son los puntos débiles del ser humano para la productividad.

Las técnicas de visión artificial son exentas a la fatiga visual y a la monotonía de las tareas, rindiendo tanto más fastidiosas sean las tareas que controla. La visión artificial controlada por un ordenador, tiene múltiples aplicaciones para la supervisión de procedimientos industriales con un considerable progreso de la eficacia productiva.

Por esta razón, la visión artificial es una disciplina que tiene como propósito, la extracción de información del medio físico a partir de imágenes, usando para ello una computadora. Se trata de un objetivo ambicioso y complejo que en la actualidad se encuentra en una fase de perfeccionamiento.

Un sistema de Visión Artificial actúa sobre una representación de un contexto que le provee información sobre movimiento, colores, formas, etc. Estas representaciones suelen estar en forma de imágenes estáticas, escenas tridimensionales o imágenes en movimiento. (AUROVA: Grupo de Automática, 2004, Pág. 4-5)



Figura 1-4. Integrador artificial.
(Fuente: METROINSTRUMENTS, 2016)

1.2.1. APLICACIONES DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

La amplia gama aplicativa de la visión artificial, se debe a que admite extraer y analizar patrones e información espectral, espacial y temporal de los distintos objetos en múltiples escenarios.

Para la información espectral comprende frecuencia (color) e intensidad (tonos y escalas de gris).

En la información espacial se refiere a características como forma y posición (una, dos y tres dimensiones).

La información temporal considera aspectos estacionarios (presencia y/o ausencia) y dependientes del tiempo (movimientos, procesos, eventos).

Las aplicaciones de la visión artificial pueden clasificarse por el tipo de actividad en inspección (medición, calibración, detección de fallas), verificación, reconocimiento, identificación y análisis de localización (posición, guía).

La detección de fallas es un análisis cualitativo que comprende la localización de defectos o artefactos no deseados, con forma y posición desconocida. Por ejemplo, hallar rajaduras en frascos o botellas de vidrio, encontrar defectos en la pintura en un artefacto, auto nuevo o agujeros en hojas de papel, etc.

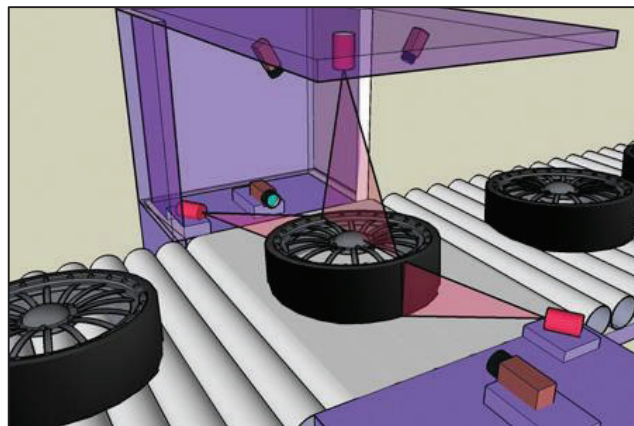


Figura 1-5. Inspección de llantas para ruedas de vehículos.

(Fuente: Infaimon S.L., 2016)

En la medición o calibración se considera a la correlación cuantitativa con los datos del diseño, confirmando que las mediciones cumplan con las especificaciones requeridas. Por ejemplo, el revisar que un cable tenga el espesor recomendado.

La verificación es el control cualitativo de que una operación que ha sido llevada a cabo correctamente. Por ejemplo, que no falten componentes en un circuito impreso.

El reconocimiento involucra la identificación de un objeto asociados con otro de similares características. Por ejemplo, la clasificación de frutas cítricas (limones, naranjas, mandarinas, etc.) por color y tamaño.

Identificación es el procedimiento de identificar y verificar un objeto por el uso de símbolos en el mismo. Por ejemplo, el código de barras.

El análisis de localización es la apreciación de la posición de un objeto. Por ejemplo, determinar la posición donde debe insertarse un circuito integrado (chip).

Guía significa proporcionar información posicional de retroalimentación para administrar una actividad. El ejemplo típico es el uso de un sistema de visión para guiar un brazo robot mientras pinta, suelda o ensambla partes.

1.3. RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

La radiografía industrial es un ensayo no destructivo, es decir un método por el cual se pueden detectar y evaluar discontinuidades que influyen en la estructura o propiedades de los materiales esto claro sin alterar las condiciones de uso o aptitud de servicio, con el fin de asegurar calidad, prevención de accidentes y confiabilidad que por lo tanto también producirán en cierta forma beneficios económicos.

El método de radiografía industrial basa su funcionamiento en la aplicación de radiaciones penetrantes, los tres efectos más importantes que se ponen en manifiesto son: el efecto fotoeléctrico, el efecto Compton y el efecto de producción de pares. En el siguiente capítulo se hablará más ampliamente de dichos efectos.

En la industria se utiliza dos tipos de radiaciones: los rayos X y los rayos gamma, los mismos son de naturaleza electromagnética con la característica de poseer longitudes de onda pequeñas y por ende alta energía.

1.3.1. HISTORIA DE LOS RAYOS X

William Crookes, investigó, en el siglo XIX, los efectos de algunos gases cuando se les aplicaba algunas descargas eléctricas, experimento realizado dentro de tubos vacíos y electrodos para generar un alto voltaje en las corrientes; a estos lo llamó tubo de Crookes.

Los rayos X fueron descubiertos de forma accidental por el profesor Wilhelm Conrad Röntgen el 8 de noviembre de 1895, quien se encontraba haciendo experimentos con los tubos de Crookes, es ahí cuando observó unos extraños rayos que poseían la facultad de atravesar papel y metal.

Wilhelm estaba analizando los rayos catódicos para evitar cierta fluorescencia que eran producidos en las paredes de vidrio en uno de los tubos, por lo que los cubre los tubos con una funda negra de cartón. Al conectar su equipo se sorprendió al momento de ver un resplandor amarillo-verdoso a lo lejos. Al apagar y volver a encender el tubo, este resplandor se producía de nuevo.

Este extraño suceso lo llevó a investigar los rayos y las radiaciones de éstos durante las siete semanas siguientes.

El 22 de diciembre decidió hacer la primera prueba con humanos, pidiendo la colaboración de su esposa, quien colocó su mano en la placa durante 15 minutos mientras el manejaba su equipo.

Al revelarse la placa de cristal, es cuando aparece la primera radiografía y con ella uno de los avances tecnológicos dentro de la medicina y también de la industria.

En enero de 1896 Wilhelm Röntgen contactó con sus compañeros de toda Europa para comunicarles los detalles de su investigación. Enviándoles adjunto una fotografía de una mano en la que la piel casi no se veía, dejando observar los huesos y lo que parecía ser la sombra de un anillo. (Buzzi, A., 2014, Pág.)



Figura 1-6. Primera Radiografía.
(Fuente: Jaespimon, 2014)

1.3.2. HISTORIA DE LOS RAYOS GAMMA

La primera fuente de rayos gamma descubierta históricamente fue el proceso del decaimiento radiactivo. En este tipo de desintegración, un núcleo es excitado y este emite un rayo gamma casi inmediatamente después de su formación.

En 1900 Paul Villard, un químico y físico francés, descubrió la radiación gamma, mientras estudiaba la radiación emitida por el radio. Villard sabía que su radiación era más potente que los tipos de radiación descritos anteriormente de los rayos de radio, como los rayos beta, observados por primera vez como "radiactividad" por Henri Becquerel en 1896, y los rayos alfa, descubiertos como una forma menos penetrante de la radiación por Rutherford, en 1899.

En 1903 Ernest Rutherford reconoce a esta radiación como un tipo fundamentalmente diferente de rayos, y lo nombra "rayos gamma", por analogía con los rayos alfa y beta que él mismo había diferenciado.

Se utilizaron las tres primeras letras del alfabeto griego: rayos alfa, los menos penetrantes, seguido de los rayos beta y los rayos gamma, los más penetrantes. Rutherford también se dio cuenta de que los rayos gamma no eran desviados fácilmente por un campo magnético como los rayos alfa y beta.

En 1914, se observó que los rayos gamma se reflejaban en las superficies de cristal, demostrando de esta forma que eran una radiación electromagnética.

Rutherford y su compañero Edward Andrade midieron las longitudes de onda de los rayos gamma del radio, y encontraron que eran similares a las de los rayos X, pero con menor longitud de onda. El decaimiento gamma fue entonces entendido como la emisión de un solo fotón gamma. (Gallego, E., 2015, Pág.12-15)

1.3.3. APLICACIONES DE LA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

Se introduce la radiografía industrial en 1912 para la producción, detección y registro de rayos x, es aplicada en ensayos no destructivos para la detección y evaluación de discontinuidades internas, como porosidad, grietas, inclusiones, etc. en piezas que posean uniones soldadas, piezas de fundición y piezas forjadas.

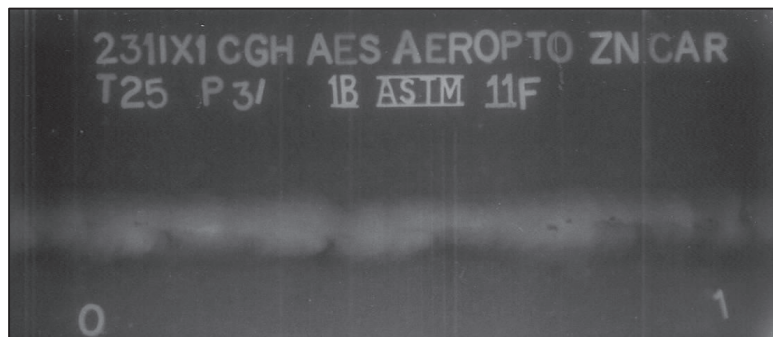


Figura 1-7. Placa Radiográfica de una Soldadura.

(Fuente: Cádenas PND, 2016)

Otras de las aplicaciones un poco menos comunes es la medición de espesores entre materiales con diferentes densidades.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. VISIÓN ARTIFICIAL

2.1.1. CONCEPTO

La visión artificial también conocida como visión industrial o por computadora, es una disciplina de análisis que tiene el propósito modelar de forma matemática los procesos de apreciación visual en los seres vivos, permitiendo simular capacidades visuales por computadora.

La visión artificial abarca algunas ramas como la informática, la óptica, la ingeniería mecánica y la automatización industrial, basados en el procesamiento de imágenes.

Los sistemas de visión artificial son destinados a efectuar inspecciones visuales de una pieza con ciertos requerimientos, tales como las dimensiones, códigos, la presencia de componentes, etc.

La visión artificial es un sistema que admite la adquisición y análisis automática de imágenes sin contacto, para recopilar los datos necesarios que permitan controlar, distinguir o interpretar un proceso o actividad, esto quiere decir, que el sistema es automático ya que no requiere de la asistencia humana en la interpretación y análisis de imágenes, y no solo la captura o analiza sino las dos acciones al mismo tiempo, con la utilización de sensores para no tener contacto con la imagen analizada.

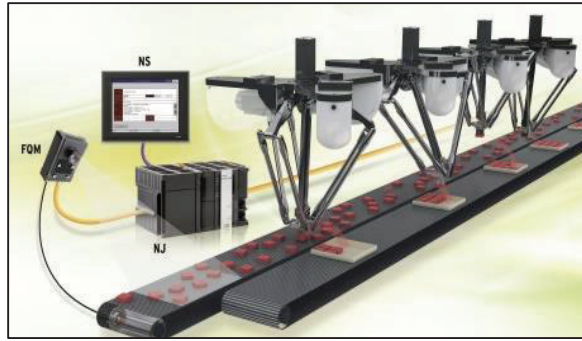


Figura 2-1. Placa Radiográfica de una Soldadura.
(Fuente: MundoPlast, 2012)

2.1.2. OBJETIVOS DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial como herramienta para la programación tiene algunos objetivos como:

- La localización, segmentación y reconocimiento de ciertos objetos en imágenes como, por ejemplo, fisonomías humanas.
- Análisis y registro de diferentes imágenes u objetos, de una misma escena o en una secuencia de imágenes, es decir, hacer ajustar un mismo cuerpo en diversas imágenes, de acuerdo a bordes, formas, etc.

Esto consigue por medio de reconocimiento de patrones y características, aprendizaje estadístico, geometría de proyección, procesamiento de imágenes, etc.

2.1.3. BASES CIENTÍFICAS Y CARACTERÍSTICAS.

2.1.3.1. Etapas de un sistema de visión artificial

La Visión Artificial, consta de algunas áreas principales, descritas a continuación:

- **Adquisición de Imagen:** Es el proceso a través del cual se obtiene una imagen visual.
- **Pre procesamiento:** Habilidades tales como la reducción de ruido, realce de detalles, filtros y transformaciones geométricas, así como también detección de bordes y cavidades.
- **Segmentación:** Es el proceso que fragmenta a una imagen en objetos que sean de utilidad y consiste en aislar los elementos que interesan de un escenario de comprensión y análisis.
- **Descripción:** Es el proceso mediante el cual se adquieren características provechosas para diferenciar un tipo de objeto de otro, por ejemplo, en tamaño y forma.
- **Reconocimiento:** Es el proceso que identifica los objetos de una escena, por ejemplo, diferentes tipos de piezas en un tablero de juego.
- **Interpretación:** Es el proceso que asocia una característica a un conjunto de objetos reconocidos.

El objetivo principal de un Sistema de Visión Artificial, es establecer un modelo del mundo real a partir de imágenes.

La tecnología de visión es una disciplina que incluye algunas características importantes:

- Analiza y detecta, bordes, formas, luz o color reflejado (mide nivel de luz).
- Puede analizar objetos en movimiento.
- Actúa sin contacto físico, no deforma el material.
- Es de alta velocidad de procesamiento (automático).
- Tiene entorno informático amplio basado en software.

2.1.3.2. Definición técnica

El proceso de la visión artificial se fundamenta en la captación de imágenes mediante cámaras, lentes, sensores, etc., y su siguiente tratamiento basado en

técnicas de procesamiento y modificación de variables sobre imágenes u objetos, que analizan sus diferentes características sin el contacto físico.

Un sistema de visión artificial:

- Capta una imagen de un objeto real
- La convierte en formato digital
- La procesa mediante un ordenador
- Obtiene unos resultados del proceso

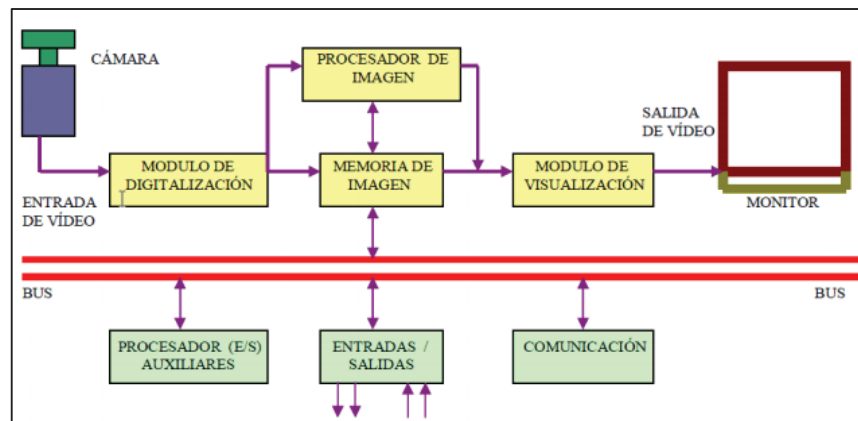


Figura 2-2. Proceso de la visión artificial en la industria.

(Fuente: Etitudela, 2016)

- Módulo de digitalización: Cambia la señal analógica de la cámara a una señal digital.
- Memoria de imagen: Almacena la señal originaria del módulo de digitalización.
- Módulo de visualización: Convierte la señal digital residente en memoria, en señal de vídeo analógica para visualizarla en el monitor.
- Procesador de imagen: Analiza e interpreta las imágenes captadas por la cámara.
- Módulo de entradas/salidas: Tramita el sincronismo de la entrada de captación de imagen y las salidas de control que actúan sobre dispositivos externos de inspección.
- Comunicaciones: Vía I/O, Ethernet, RS232, etc.

2.1.4. MÉTODOS DE CAPTACIÓN DE LAS IMÁGENES.

Para el análisis de captación de imágenes se toma en cuenta algunos criterios de interpretación en la visión artificial que a continuación se menciona:

La captación de imágenes con más herramientas y parámetros de interpretación es la Digital, ya que presenta el resultado de las medidas o muestreos verificados en intervalos de tiempo distanciados regularmente (función).

Los valores que esta función toma como un número positivo y entero, en cada punto obedecen al brillo que presenta en esos puntos la imagen original:

- **Píxel:** La imagen digital considerada como una cuadrícula, donde cada elemento de la cuadrícula se llama Píxel (*Picture element*). La resolución normal o estándar se puede considerar de 512 x 484 Pixel de una imagen digital.

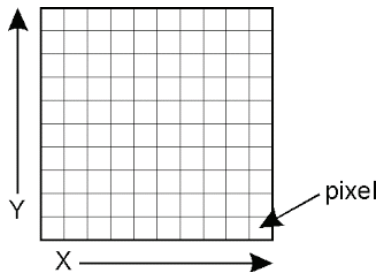


Figura 2-3. Resolución de imagen pixel.

(Fuente: López, O., 2015)

- **Nivel de grises:** En el proceso de digitalización de una imagen, la intensidad del brillo en la condición original propio a cada punto es cuantificada, dando lugar a un número denominado “nivel de gris”.

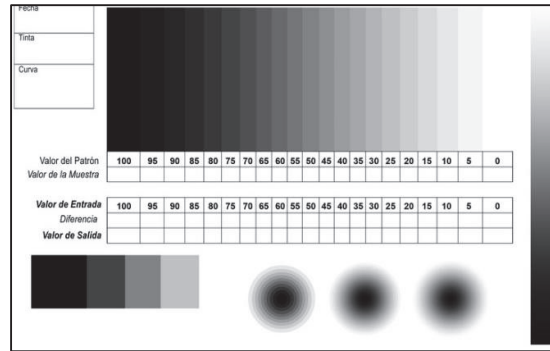


Figura 2-4. Tonos de grises.
(Fuente: Gudiel, J., 2015, Pág. 5)

- **Imagen binaria:** Imagen que sólo tiene dos niveles de gris: negro y blanco. Cada píxel se transforma en negro o blanco en función del llamado umbral o nivel binario.

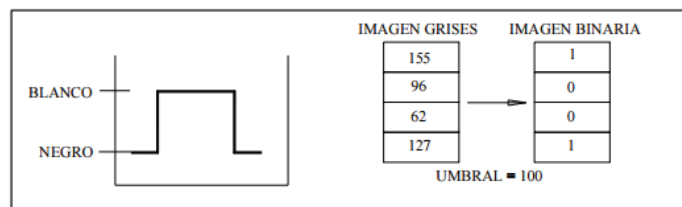


Figura 2-5. Imagen binaria.
(Fuente: Etitudela, 2016)

- **Escena:** Es un espacio de memoria donde se almacenan todos los parámetros referidos a la inspección de un objeto en particular: sensor o cámara utilizada, imágenes de patrón memorizadas, entradas y salidas de control, tolerancias, datos a visualizar, etc.
- **Window (ventana de medida):** Es la zona específica de la imagen recogida que se quiere examinar.

2.1.5. ELEMENTOS PARA DESARROLLAR EL SISTEMA

2.1.5.1. Componentes y elementos de un sistema de visión artificial

El proceso secuencial operativo de un sistema de visión artificial está dado de acuerdo al siguiente diagrama de bloques:

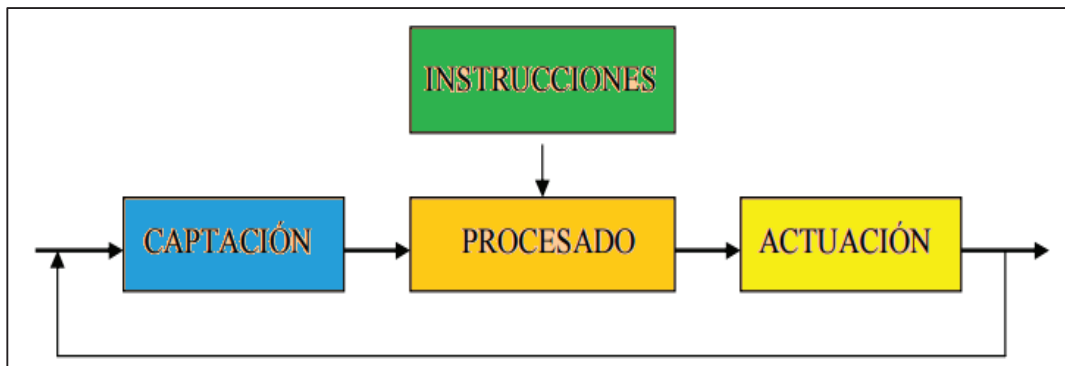


Figura 2-6. Sistema de visión artificial.

(Fuente: Propia, 2016)

Dónde:

- La captación es la obtención de la imagen visual del objeto a inspeccionar.
- Las instrucciones son un conjunto de instrucciones a ejecutar para satisfacer el problema.
- El procesado es el proceso de la imagen mediante ciertas operaciones.
- La actuación se lo efectúa sobre el entorno (aparato, pieza, elemento) en función de la deducción obtenida.

De acuerdo a la secuencia simplificada se toma en cuenta algunos elementos necesarios para la formación de un sistema de visión artificial.

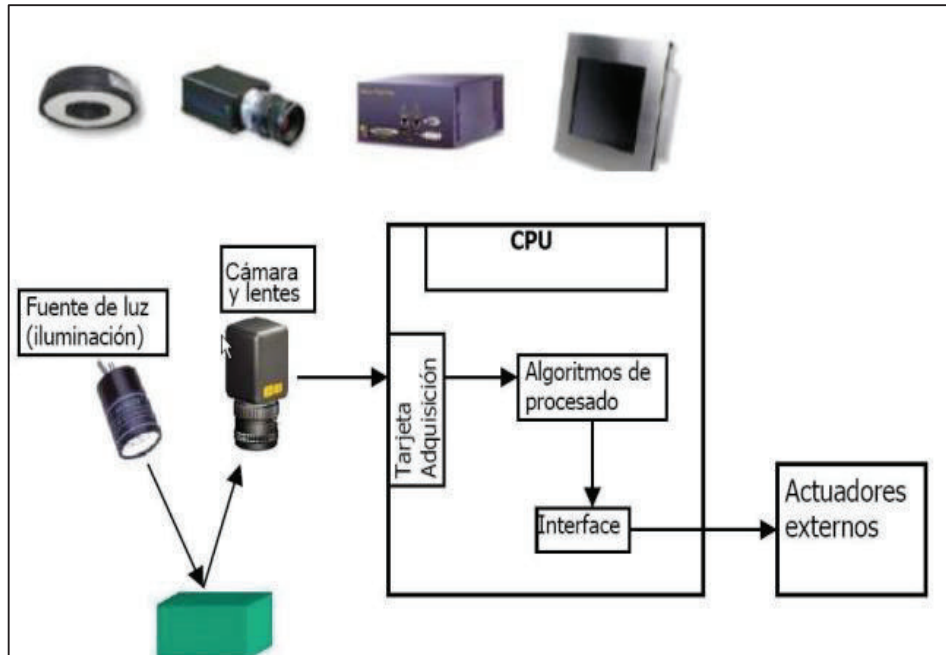


Figura 2-7. Componentes de un sistema de visión artificial.

(Fuente: FSE, 2012)

- **El sistema de iluminación**

En un sistema de visión la iluminación es la parte más crítica, donde las cámaras capturan la luz reflejada de los cuerpos, con el propósito de controlar la forma en que se puede visualizar al objeto.

Existen algunas consideraciones a tener en cuenta para determinar el sistema de iluminación: como el campo de visión a iluminar, si necesita color o en monocromo, utilización de alta velocidad, presencia de superficies con reflejos, tiempo de iluminación, requisitos mecánicos o ambientales, características a resaltar, etc.

Estas particularidades presentan el tipo de iluminación a utilizar, para lo que se tendrá en cuenta la intensidad de luz necesaria, longitud de onda adecuada, superficie a iluminar, reflectividad del objeto, color del objeto, espacio disponible, tipo de cámara utilizada, entre otras.

Por tal motivo, la iluminación puede ser mediante fibra óptica, fluorescente, led, difusa (polarizada), backlight, láser, etc.



Figura 2-8. Sistemas de iluminación.

(Fuente: FSE, 2012)

- **El sensor o cámara de captura de imagen**

Para cada aplicación y necesidad se selecciona el tipo de cámaras y óptica más adecuado para el análisis:

Tipos de cámaras:

- Lineales.
- Matriciales.
- En color.
- En blanco y negro.

Tipos de lentes:

- Teleobjetivos.
- Gran angular.
- Telecéntricas.

Cámaras

El propósito de las cámaras es capturar la imagen proyectada en el sensor, vía las ópticas (lentes), y así trasladar a un sistema electrónico.

Las cámaras utilizadas en visión artificial son más sofisticadas que las cámaras convencionales, ya que tienen que capacidad de un control completo de: tiempos, señales, sensibilidad, etc.

Se clasifican en función de:

- I. La tecnología del elemento sensor.
 - Cámaras de tubo: Utilizan un material fotosensible que capta la imagen, que es leída por un haz de electrones.
 - Cámaras de estado sólido CCD (Charge Coupled Device): Utilizan materiales semiconductores fotosensibles, para cuya lectura no es necesario un barrido electrónico (más pequeñas que las de tubo).
- II. La disposición física.
 - Cámaras lineales. Se fundamentan en un sensor CCD lineal.
 - Cámaras matriciales. Basadas en un sensor CCD matricial, lo que admite el análisis de imágenes bidimensionales.

Hay una cámara específica para cada aplicación, color, monocromo, alta definición, sensibilidad y velocidad, infrarrojas, etc.



Figura 2-9. Cámara lineal.

(Fuente: Etitudela, 2016)

Ópticas

Las ópticas se utilizan para transportar de forma controlada la luz al sensor de la cámara, obteniendo una imagen enfocada de uno o varios objetos.

Existen algunos parámetros a tener en cuenta como: tamaño del sensor, distancia del objeto a la cámara y el campo de visión.

Se puede calcular la óptica mediante la siguiente fórmula:

$$Distancia = \frac{Tamaño\ del\ sensor \times Distancia\ al\ objeto}{Tamaño\ del\ objeto} \quad (Ec. 2-1)$$

Es indispensable utilizar ópticas de calidad para tener la mejor imagen posible y permitir las medidas con la mayor precisión.

- **Computadora personal (PC)**

La computadora personal es la parte pensante del sistema, encargada de almacenar y mostrar las imágenes capturadas, así como de procesarlas.

Entre las tareas importantes a realizar, se tiene:

- Recibir señales sincronizadas para capturar correctamente las imágenes.
- Ejecutar la lectura de las imágenes.
- Procesar los datos por las cámaras para el análisis de imagen.
- Realizar el interfaz con los usuarios.
- Detectar la aparición de algún defecto.
- Controlar el buen trabajo de todos los elementos hardware.

- **Tarjeta de adquisición**

La tarjeta de adquisición también llamada capturador (grabbers), captan las imágenes con la mejor calidad y las envía a la memoria del ordenador con el fin de procesarlas, analizarlas y /o visualizarlas.

- **Procesamiento de imagen (algoritmos)**

Software

En la antigüedad no era posible hacer los procesos en tiempo real, debido a que los ordenadores no eran lo suficientemente rápidos para realizar el procesamiento de datos con las imágenes.

Con la evolución de los procesadores de los PC se ha logrado visualizar las imágenes en tiempo real y realizar procesos en tiempos muy cortos, con los resultados esperados en su razonable período.

Esta evolución del hardware ha desarrollado de librerías de visión que logren funcionar en entornos estándar de toda clase de sistemas operativos como de procesadores.

El fundamento del software de un sistema de visión artificial es la interpretación y análisis de los píxeles, obteniendo como resultado final desde la

medida de una partícula hasta la determinación o lectura de una serie de caracteres (OCR).

Interface

Una interfaz para notificar el resultado del análisis a un operador.

Actuadores externos

Permiten la sincronía con el proceso, para conseguir la imagen en el momento adecuado y para actuar con el proceso o separar unidades defectuosas.

2.2. RADIOGRAFÍA

La radiografía industrial es un método de ensayos no destructivos mediante el cual, se puede observar diferentes discontinuidades internas que presenta un material sometido a este proceso.

Para llevar a cabo este proceso se utiliza radiación electromagnética, ya sea rayos x o rayos gamma, que tiene la capacidad de penetrar ciertos materiales. La interacción entre la materia y la radiación electromagnética dan como resultado un registro permanente, en base al espesor, densidad y configuración del material.

2.2.1. ORIGEN DE LOS RAYOS X Y RAYOS GAMMA

La principal diferencia entre los rayos X y los rayos gamma es el origen de cada uno de ellos. Los rayos X se producen por la transformación de energía en electrones animados de gran velocidad, al chocar contra un obstáculo, mientras que los rayos gamma se crean a partir de una sustancia radioactiva (radioisótopo). Como se puede observar en la Figura 2-10 la longitud de onda en los rayos x en

menor que la de los rayos gamma, por lo tanto, la energía que será mayor en los rayos gamma. (Hellier C.J., 2003, Pág.6.16)

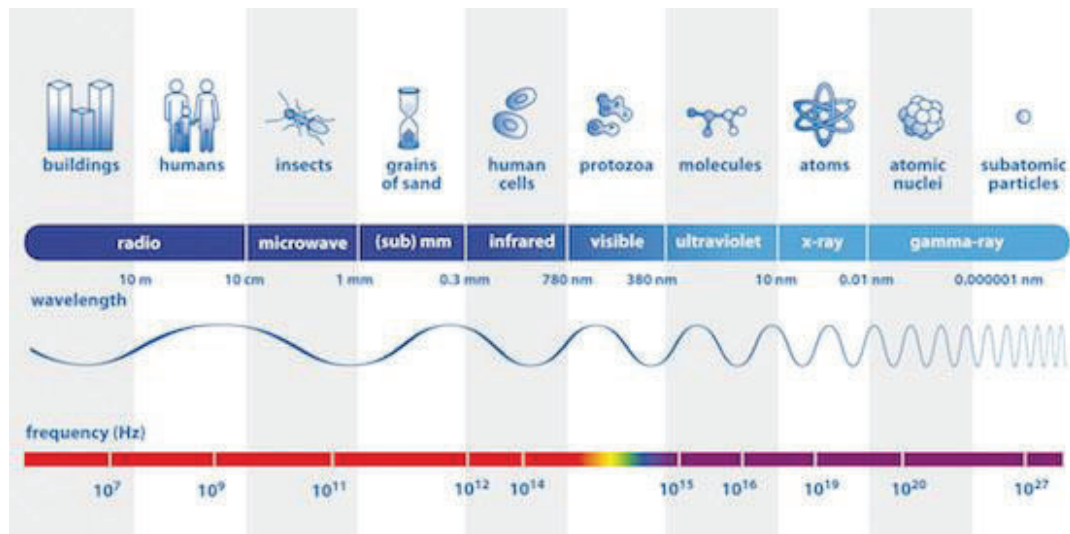


Figura 2-10. Espectro electromagnético.

(Fuente: NUPEX, 2014)

2.2.2. VARIABLES

La radiografía industrial dentro de los ensayos no destructivos cuenta con una gran cantidad de variables a considerar y esas son:

2.2.2.1. Energía

Se refiere al tipo de radiación a utilizarse; ya sea rayos X o rayos gamma.

2.2.2.2. Tiempo de exposición

Se lo calcula en base al espesor de la placa y a factores de película y material. Es el tiempo que la placa va a recibir radiación.

2.2.2.3. mA (rayos x) o curies (rayos gamma)

Se refiere a la cantidad de energía a la que se la va a someter a la muestra que se va analizar.

2.2.2.4. Tipo de material y densidad

Para cada material, se establecen diferentes parámetros, y en base a ellos se calcula el tiempo de exposición y mA o curies dependiendo del caso.

2.2.2.5. Espesor del material

Esta variable afecta directamente al cálculo del tiempo de exposición, existen tablas del equipo a usarse, en las que se toman de dato inicial el espesor y material a radiografiare.

2.2.2.6. Tipo de película

Existen diferentes tipos de película, la misma se debe escoger de acuerdo al tipo de radiación a utilizarse y dependiendo de las necesidades una vez revelada.

2.2.2.7. Pantallas utilizadas

Existen diferentes pantallas y estas hacen referencia a una correspondencia espectral.

2.2.2.8. Procesamiento de la película

Una vez obtenida la película esta debe ser tratada, revelada, regulando los tiempos, temperatura, etc.

2.2.2.9. Densidad de película

Afecta en el posterior cálculo de tiempo de exposición, cada película cuenta con una curva característica, que proporciona un factor que influye en dicho tiempo.

2.2.2.10. Distancia desde la fuente de radiación al objeto

Se refiere a la separación que habrá entre el objeto a radiografiarse y la fuente (rayos X o rayos gamma), influye en el tiempo de exposición, por la ley de la inversa de las distancias.

2.2.2.11. Distancia del objeto a la película

Es la distancia que existe entre el objeto a radiografiar y la película, en muchos de los casos la película está pegada al objeto.

2.2.2.12. Tamaño físico del objetivo (rayos x) o fuente (rayos gamma)

El tamaño de la fuente influye en la penumbra que se va a producir de acuerdo al objeto. (Hellier C.J., 2003, Pág. 6.25)

Para el control de estas variables se deben considerar diferentes parámetros ya sea en rayos x o en rayos gamma.

2.2.2.13. Caracterización de Radioisótopos

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{Ec. 2-2})$$

Dónde:

A= Actividad del radioisótopo en un tiempo t [Bq]

A₀= Actividad inicial del radioisótopo [Bq]

t= Tiempo transcurrido desde la determinación de la actividad inicial [s]

λ= Probabilidad de desintegración por unidad de tiempo [1 /s]

VIDA MEDIA DE UN RADIOISÓTOPO: Tiempo en el que su actividad decae a la mitad de la actividad inicial.

2.2.2.14. Falta de nitidez (Penumbra) geométrica

La falta de nitidez geométrica determina el nivel de rasgos visibles finales de acuerdo a una exposición que toma como variables la dimensión de la fuente, distancia de la fuente a la película y la distancia del objeto a la película está. Se representa por la siguiente ecuación:

$$Ug = \frac{Ft}{do} \quad (\text{Ec. 2-3})$$

Dónde:

U_g = penumbra geométrica

F = dimensión máxima proyectada de la fuente de radiación,

t = distancia desde el lado de la fuente del espécimen a la película, y

d_o = distancia fuente-objeto (ASTM, 2010, Pág.5)

En la Figura 2-11 se muestran ciertas circunstancias en donde se aprecia o no la penumbra, en base a los parámetros antes mencionados.

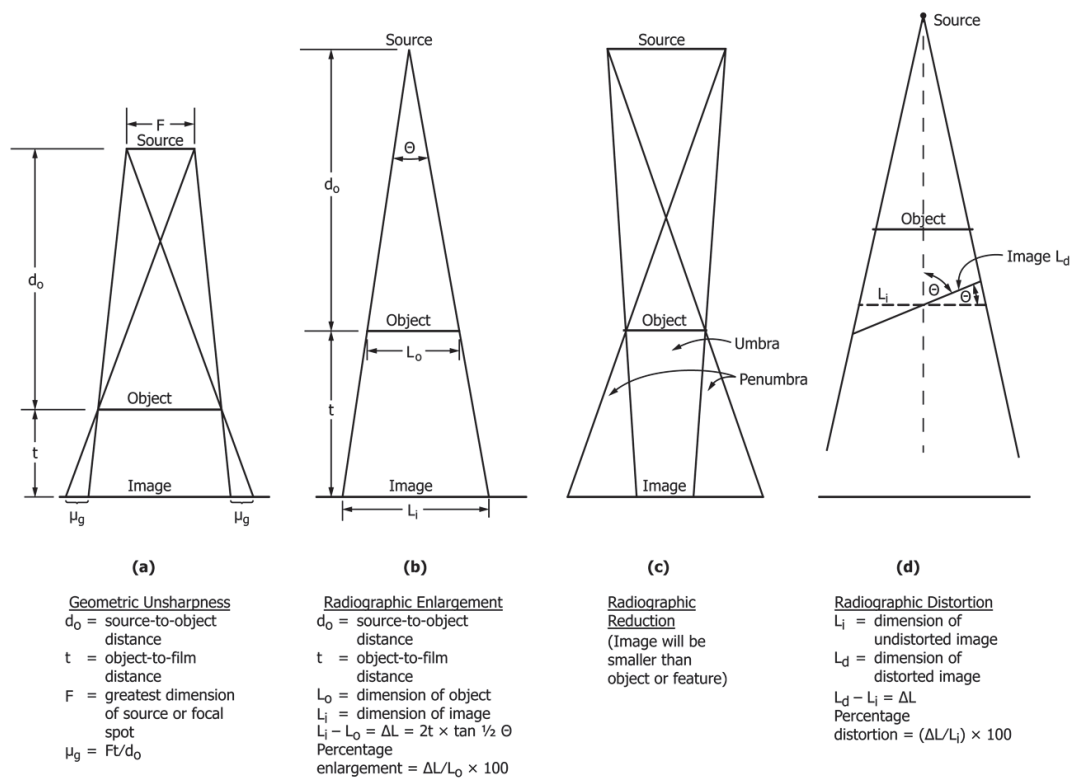


Figura 2-11. Efectos de la Geometría Objeto-Película.
(Fuente: ASTM, 2010, Pág.6)

2.2.2.15. Ley de la inversa del cuadrado de la distancia

Se considera que en intervalos de cortos de tiempo la exposición de radiaciones ionizantes permanece constante por lo que la intensidad con la que se atraviesa un objeto es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la superficie del objeto y la fuente.

Lo que se representa con la siguiente ecuación:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \quad (\text{Ec. 2-4})$$

Dónde:

I1 = Intensidad en el punto 1

I2 = Intensidad en el punto 2

D1 = Distancia en el punto 1

D2 = Distancia en el punto 2

La Figura 2-12 muestra más claramente este efecto, es decir que, si un objeto se encuentra a un metro de la fuente y la intensidad del mismo es de 60 mAs, la intensidad será de 15 mAs a una distancia de 2 metros.

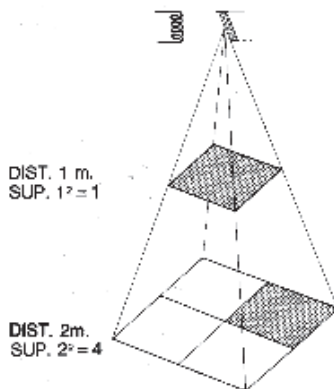


Figura 2-12. Ley de la inversa del cuadrado de las distancias.

(Fuente: TSID, 2016)

2.2.2.16. Amperaje, voltaje y tiempo de exposición

El voltaje, amperaje y tiempo de exposición dependerán directamente del tipo de radiación utilizada, el tipo de película, material y espesor de la pieza a inspeccionar, etc.

Para ello se debe recurrir al manual del equipo que se desea emplear para la realización de radiografías.

A continuación, se muestra la Figura 2-13 obtenía del manual del equipo disponible en el laboratorio de ensayos no destructivos de la Escuela Politécnica Nacional, en donde se muestra los diferentes kilovoltajes con los que trabaja la máquina en función del espesor, para la obtención del tiempo de exposición ya sea a 10mA o a 5mA.

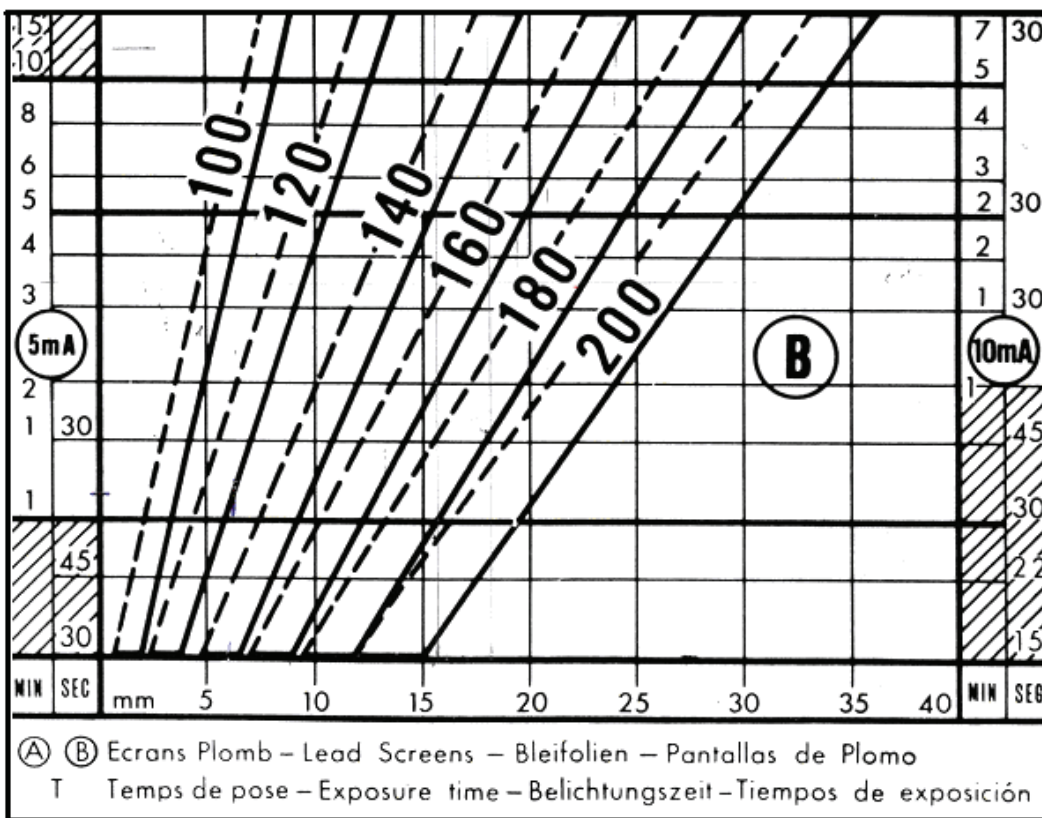


Figura 2-13. Diagrama de operación de la máquina de rayos x, laboratorio de END.
(Fuente: Division Radiologie Intustrielle, 1991, Pág.18)

2.2.3. REVELADO DE PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS

2.2.3.1. Baño revelador

En este proceso se coloca las películas en el tanque que contiene una la sustancia reveladora, medio alcalino, este baño tarda 5 minutos y se realiza a temperatura ambiente (20°C).

2.2.3.2. Baño de parada

Se debe sumergir en un baño ácido (agua), su objetivo es detener rápidamente la acción reveladora.

2.2.3.3. Fijado

En esta etapa se va a detener completamente la acción del revelado, elimina la plata no quemada en un medio ácido (PH4)

2.2.3.4. Lavado

El fijador puede dañar la película por lo que en esta etapa se puede eliminar toda la Ag, dándole de esta forma mayor tiempo de vida además sirve de humectante para evitar el rayado en el proceso de secado.

2.2.3.5. Secado

Es el último paso y se puede realizar en una secadora o en un lugar libre de polvo y que permita un secado prolijo de la película.

CAPÍTULO 3

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

3.1. TÉCNICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS MÁS HABITUALES.

Para la elección de la técnica de ensayo no destructivo en un material se debe tener en cuenta algunas características, así como ventajas y desventajas de cada una de ellas.

Tabla 3-1. Aplicación de los diferentes ensayos no destructivos (END).

| MÉTODO | TIPO DE DEFECTO QUE DETECTA | MATERIAL DE ANÁLISIS | NO SIRVE PARA... |
|--------------------------------|------------------------------------|---|--|
| Radiografía | Internos. | Fundiciones y soldaduras. | Fundiciones de espesores mayores a 400 mm. |
| Ultrasonido | Internos. | Placas, tuberías, soldaduras y forjados. | Materiales con alta atenuación. |
| Partículas Magnéticas | Superficiales y subsuperficiales. | Materiales ferromagnéticos. | Materiales no magnéticos y defectos internos. |
| Líquidos Penetrantes | Superficiales. | Materiales metálicos y no metálicos. | Defectos internos y materiales porosos. |
| Corrientes inducidas o de Eddy | Superficiales y subsuperficiales. | Materiales conductores de geometría simple. | Materiales con geometrías complicadas y defectos internos. |

(Fuente: Propia, 2016)

3.2. ALTERNATIVAS DE CRITERIOS DE NORMAS PARA ACEPTACIÓN Y RECHAZO EN DISCONTINUIDADES PRESENTES EN RADIOGRAFÍAS DE SOLDADURA

Para la elección de una norma se realiza ponderaciones en base a ciertos criterios de selección. En la Tabla 3-2 se muestra los criterios más determinantes a considerarse y a cada uno se le asigna un valor, según sea su importancia.

Tabla 3-2. Criterios de selección para aceptación y rechazo en discontinuidades presentes en radiografía de soldadura.

| CRITERIOS DE SELECCIÓN | | |
|-------------------------------|--|--------------------|
| Criterios | Determinaciones | Ponderación |
| I. Concepto | ¿Presenta facilidad de interpretación? ¿Los criterios de evaluación son concretos y eficaces? | 0.3 |
| II. Prestaciones | ¿Es una norma vigente? ¿La norma es usada habitualmente a nivel nacional? ¿La norma es usada habitualmente en el laboratorio de Ensayos No Destructivos? | 0.2 |
| III. Confiabilidad | ¿Admite rangos de tolerancia en la aceptación o rechazo de discontinuidades? ¿Presenta una clasificación clara de defectos? | 0.2 |
| IV. Alcance | ¿Puede usarse para evaluaciones generales de soldadura? ¿Evalúa la mayor cantidad de discontinuidades? | 0.2 |
| V. Accesibilidad | ¿Se encuentra disponible en biblioteca de la EPN? ¿Se encuentra disponible en la red? | 0.1 |
| TOTAL | | 1.0 |

(Fuente: Propia, 2016)

Las alternativas factibles para la selección de criterios de aceptación y rechazo de discontinuidades presentes en radiografías son:

Alternativa A: ASME sección IX.

Alternativa B: API 1104.

Alternativa C: AWS D1.1.

3.2.1. ALTERNATIVA A: CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO EN RADIOGRAFÍAS SEGÚN LA NORMA ASME IX.

Criterios de aceptación de Radiografía

Según la norma no se aceptan fisuras, falta de fusión, falta de penetración.

- Indicaciones lineales: Su longitud es mayor a tres veces el ancho, como inclusiones de escoria alargadas.
- Indicaciones redondeadas: Su longitud menor o igual a tres veces el ancho, como poros, inclusiones de tungsteno e inclusiones de escoria redondeadas.

Límites de aceptación

Límites de aceptación radiográfica según ASME BPVC SECCIÓN IX.

Indicaciones lineales e inclusiones de escoria

- **Longitud**
 - a) 3 mm, para t menor o igual a 10 mm.
 - b) $1/3t$, para t mayor a 10 mm hasta 57 mm.
 - c) 19 mm, para t mayor a 57 mm.

- **Alineadas y agrupadas**

La sumatoria de longitudes que sean mayores a t en una longitud de referencia igual a $12t$, no se suman cuando la distancia entre indicaciones excede 6 veces el tamaño de la indicación más grande.

Indicaciones redondeadas y porosidad

- **Tamaño**

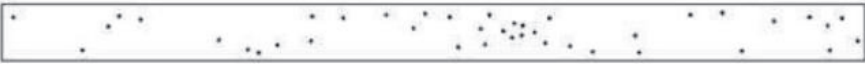



El tamaño máximo es el 20% de t , o 3 mm el menor de los dos valores.

- **Concentradas y agrupadas**

Para t menor a 3mm se acepta máximo 12 poros en una longitud de referencia de 150 mm.

Para t mayor o igual a 3 mm se aplica los gráficos de QW-191.2 de la parte inferior, las indicaciones con un diámetro menor a 0.8 mm no se las considera.

Tabla 3-3. QW-191.2

| ÍTEM | <p style="text-align: center;">QW-191.2 APÉNDICE I CARTAS PARA EVALUAR INDICACIONES REDONDEADAS</p> |
|------|---|
| 1 |  <p style="text-align: center;">Cantidad típica y tamaño permitido: En 6" (150 mm) L soldadura de referencia; Desde 1/8" (3 mm) hasta 1/4" (6 mm) de espesor.</p> |
| 2 |  <p style="text-align: center;">Cantidad típica y tamaño permitido: En 6" (150 mm) L soldadura de referencia; Sobre 1/4" (6 mm) hasta 1/2" (13 mm) de espesor.</p> |
| 3 |  <p style="text-align: center;">Cantidad típica y tamaño permitido: En 6" (150 mm) L soldadura de referencia; Sobre 1/2" (13 mm) hasta 1" (25 mm) de espesor.</p> |
| 4 |  <p style="text-align: center;">Cantidad típica y tamaño permitido: En 6" (150 mm) L soldadura de referencia; Sobre 1" (25 mm) de espesor.</p> |
| | <p>Donde:</p> <p>t: es el espesor nominal más delgado de la junta.</p> |

(Fuente: ASME BPVC SECCIÓN IX, 2010)

En la Tabla 3-4 se muestra la calificación cualitativa y cuantitativa de los criterios de selección para el código ASME sección IX

Tabla 3-4. Criterios de selección para ASME sección IX.

| CRITERIOS DE SELECCIÓN | | |
|-------------------------------|--|--------------------------------|
| Criterios | Evaluación cualitativa | Evaluación cuantitativa |
| I. Concepto | El código ASME contiene una gran cantidad de información no solo de radiografía sino en general de ensayos no destructivos. | 8 |
| II. Prestaciones | Norma vigente, última actualización en 2015. No tan usada como otras normas. | 7 |
| III. Confiabilidad | Presenta una clasificación general de indicaciones y el rango de tolerancias es muy estricto. | 5 |
| IV. Alcance | Norma utilizada para calderas y recipientes de presión. Evalúa discontinuidades de manera amplia sin énfasis en defectos específicos. | 5 |
| V. Accesibilidad | No disponible en la biblioteca de la EPN. Costo elevado de adquisición. Versiones gratuitas incompletas. | 4 |

(Fuente: Propia, 2016)

3.2.2. ALTERNATIVA B: CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO EN RADIOGRAFÍAS SEGÚN LA NORMA API 1104.

Límites de aceptación para radiografía según API 1104

- **Falta de penetración (IP)**
 - Una longitud de máximo 25 mm (1 in).
 - La sumatoria de las longitudes de IP máximo 25mm (1 in) en una longitud de referencia de 300 mm (12 in).
 - La sumatoria de las longitudes de IP máximo el 8% de la longitud del cordón de soldadura, cuando la soldadura es menor a 300 mm (12 in).

- **Falta de penetración por desalineamiento (IPD)**
 - Una longitud de máximo 50 mm (2 in).
 - La sumatoria de las longitudes de IPD máximo 75mm (3 in) en una longitud de referencia de 300 mm (12 in).

- **Falta de penetración en la sección transversal (soldadura por los dos lados) (ICP)**
 - Una longitud de máximo 50 mm (2 in).
 - La sumatoria de las longitudes de ICP máximo 50mm (2 in) en una longitud de referencia de 300 mm (12 in).

- **Fusión incompleta (IF)**
 - Una longitud de máximo 25 mm (1 in).
 - La sumatoria de las longitudes de IF máximo 25mm (1 in) en una longitud de referencia de 300 mm (12 in).
 - La sumatoria de las longitudes de IF máximo el 8% de la longitud del cordón de soldadura, cuando la soldadura es menor a 300 mm (12 in).

- **Concavidad interna (IC)**

- Es aceptable sin importar su longitud cuando la densidad de la imagen de la discontinuidad no excede la densidad del material base más delgado.
- Cuando la densidad de la IC excede la densidad del material base más delgado, se aplica los criterios de aceptación para exceso de penetración BT.

- **Exceso de penetración (BT)**

- a) Tuberías con diámetro exterior ≥ 60 mm (2.375 in):

- Una longitud máximo 6 mm (1/4 in) y la densidad no debe exceder la densidad del material base más delgado.
- Una longitud que no exceda el espesor del material base más delgado y la densidad no debe exceder la densidad del material base más delgado.
- La sumatoria de las longitudes de BT máximo 13 mm (1/2 in) en una longitud de referencia de 300 mm (12 in) o la longitud total de la soldadura, la que sea menor entre los dos.

- b) Tuberías con diámetro exterior < 60 mm (2.375 in):

- Una longitud máximo 6 mm (1/4 in) y la densidad no debe exceder la densidad del material base más delgado.
- Una longitud que no exceda el espesor del material base más delgado y la densidad no debe exceder la densidad del material base más delgado.
- Más de un BT es causa de rechazo y la densidad no debe exceder la densidad del material base más delgado.

- **Inclusiones de escoria**

- **Inclusiones de escoria alargadas (ESI)**
- **Inclusiones de escoria redondeadas (ISI)**

Las inclusiones de escoria alargadas separadas por el cordón de raíz, se consideran una sola indicación a menos que el ancho de una de ellas exceda 0.8 mm (1/32 in), en cuyo caso se considerarán como indicaciones individuales.

Tuberías con diámetro exterior \geq 60 mm (2.375 in)

a) Inclusiones de escoria alargadas (ESI):

- Una longitud de máximo 50 mm (2 in).
- La sumatoria de las longitudes de ESI máximo 50mm (2 in) en una longitud de referencia de 300 mm (12 in).
- Espesor de ESI de máximo 1.6 mm (1/16 in).
- La sumatoria de las longitudes de ESI no debe de exceder el 8% de la longitud total de la soldadura.

b) Inclusiones de escoria redondeadas (ISI):

- La sumatoria de las longitudes de ISI máximo 13mm (1/2 in) en una longitud de referencia de 300 mm (12 in).
- Espesor de ISI de máximo 3 mm (1/8 in).
- Máximo 4 ISI con un espesor máximo de 3mm (1/8 in) en una longitud de referencia de 300 mm (12 in).
- La sumatoria de las longitudes de ISI no debe de exceder el 8% de la longitud total de la soldadura.

Tuberías con diámetro exterior $<$ 60 mm (2.375 in):

a) Inclusiones de escoria alargadas (ESI):

- Una longitud de máximo tres veces el espesor del material base más delgado.
- Espesor de ESI de máximo 1.6 mm (1/16 in).

- La sumatoria de las longitudes de ESI no debe de exceder el 8% de la longitud total de la soldadura.
- b) Inclusiones de escoria redondeadas (ISI):
- La sumatoria de las longitudes de ISI no debe de exceder dos veces el espesor del material base más delgado.
 - La sumatoria de las longitudes de ISI no debe de exceder dos veces el espesor del material base más delgado y el espesor debe ser máximo la mitad del espesor del material base más delgado.
 - La sumatoria de las longitudes de ISI no debe de exceder el 8% de la longitud total de la soldadura.

- **Porosidad**

Poros individuales o dispersos (P)

- Tamaño máximo 3 mm (1/8 in) o el 25% del espesor del material base más delgado, la que sea menor entre los dos.
- La distribución de los poros dispersos no debe sobrepasar lo mostrado en la Figura 3-1 y Figura 3-2.

Nido de poros (CP)

- Aplica el criterio de poros individuales (P).

Poros tipo gusano (HB)

- Solo se encuentran el en pase de raíz.
- Una longitud máxima de 13 mm (1/2 in).
- La sumatoria de las longitudes de HB no debe de exceder 50 mm (2 in) en una longitud de referencia de 300 mm (12 in).
- Indicaciones de HB mayores a 6 mm (1/4 in) de longitud, deben estar separadas entre sí por un mínimo de 50 mm (2 in).
- La sumatoria de las longitudes de HB no debe de exceder el 8% de la longitud total de la soldadura.

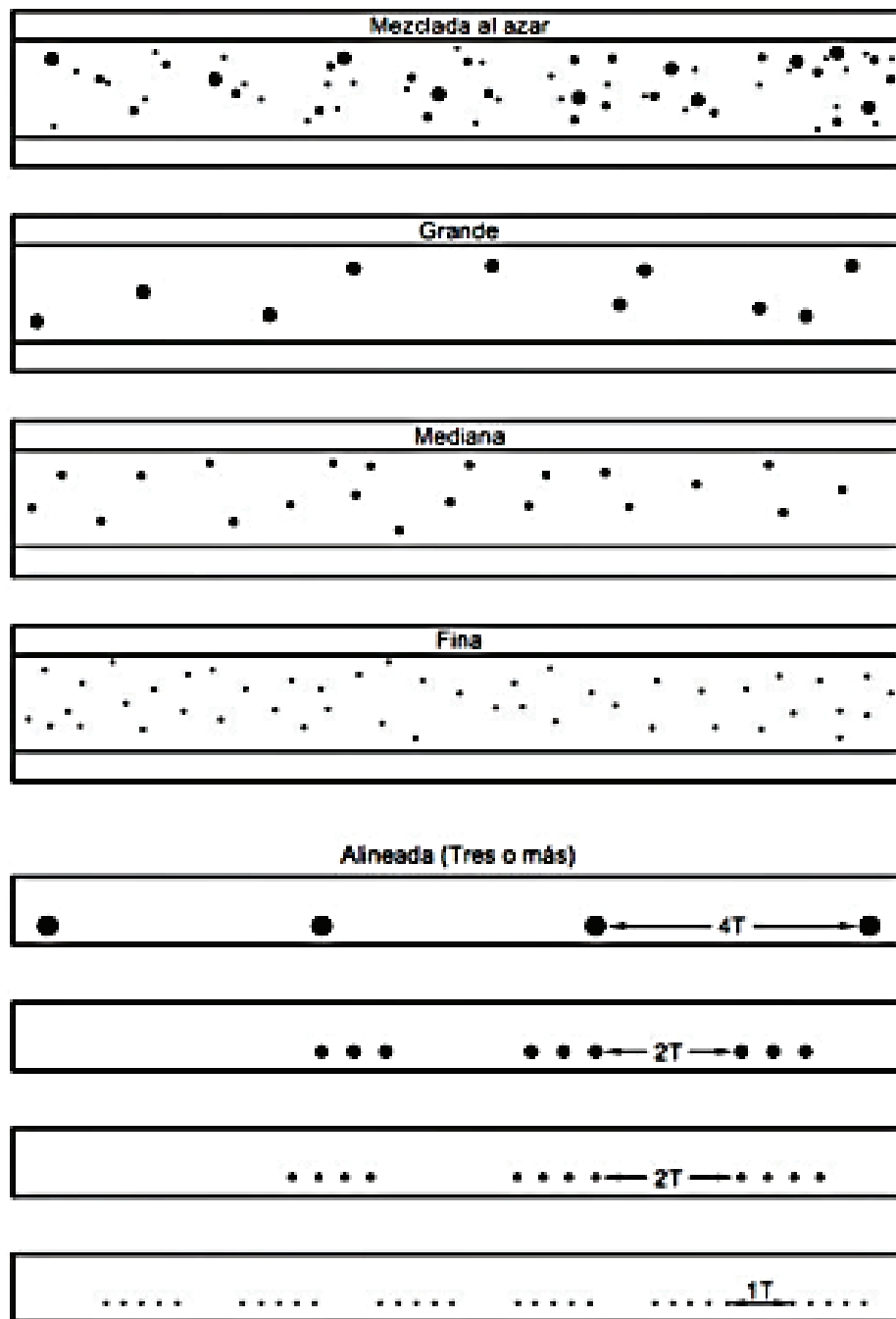


Figura 3-1. Distribución máxima de porosidades para espesores de pared menores o iguales a 12.7 mm.

(Fuente: API 1104, 2010, Pág. 21 – 27)

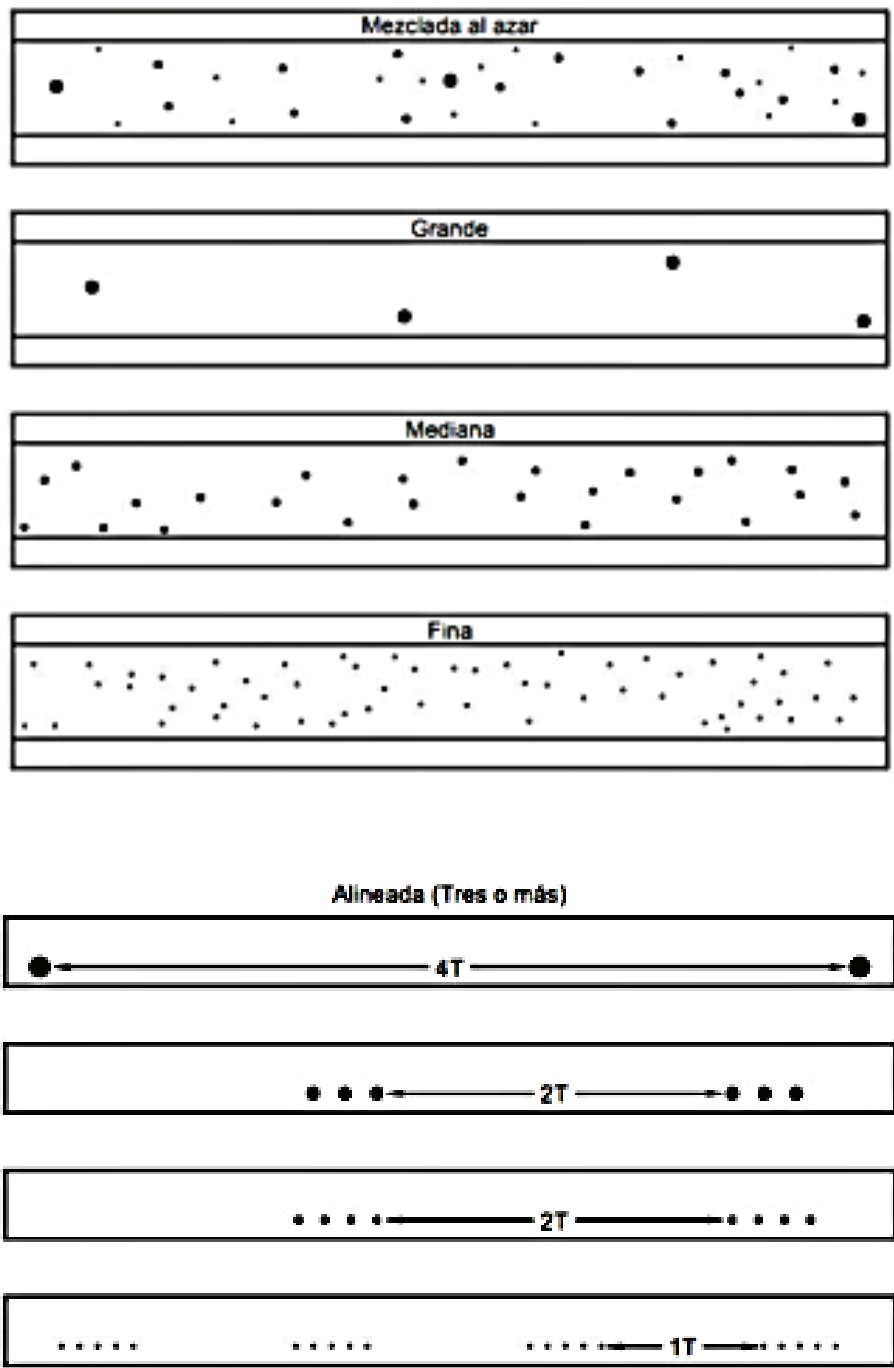


Figura 3-2. Distribución máxima de porosidades para espesores de pared mayores a 12.7 mm.

(Fuente: API 1104, 2010, Pág. 21 – 27)

- **Mordeduras**

- **Externas (EU)**
- **Internas (IU)**

La sumatoria de las longitudes de IU y EU no debe de exceder 50 mm (2 in) en una longitud de referencia de 300 mm (12 in) o el 1/16 de la longitud total del cordón de soldadura, la que sea menor entre los dos.

- **Acumulación de defectos (AI)**

Se excluye la falta de penetración por desalineamiento (IPD) y las mordeduras (IU & EU).

- La sumatoria de las longitudes de las indicaciones no debe de exceder 50 mm (2 in) en una longitud de referencia de 300 mm (12 in).
- La sumatoria de las longitudes de las imperfecciones no debe de exceder el 8% de la longitud total de la soldadura.

La Tabla 3-5 expone la calificación cuantitativa y cualitativa de los criterios de selección para la norma API 1104.

Tabla 3-5. Criterios de selección para API 1104.

| CRITERIOS DE SELECCIÓN | | |
|-------------------------------|---|--------------------|
| Criterios | Determinaciones | Ponderación |
| I. Concepto | Expone clasificación de defectos clara, además de proporcionar definiciones del mismo Los criterios de evaluación son concretos, no se prestan a doble interpretación | 10 |
| II. Prestaciones | Norma vigente, última actualización en 2015 Usada a nivel nacional en la calificación de soldaduras para tuberías de petróleo y en las prácticas de laboratorio de END | 8 |
| III. Confiabilidad | Establece rangos para la aceptación o rechazo de discontinuadas eficaces. Realiza evaluaciones en base al tipo de discontinuidad, no en forma general | 8 |
| IV. Alcance | Norma utilizada para tuberías e Instalaciones relacionadas. Evalúa un gran número de discontinuidades | 7 |
| V. Accesibilidad | No se encuentra disponible en la biblioteca de la EPN Disponible en la web, versiones gratuitas completas, en idiomas como inglés y español | 6 |

(Fuente: Propia, 2016)

3.2.3. ALTERNATIVA C: CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO EN RADIOGRAFÍAS SEGÚN LA NORMA AWS D1.1.

Las soldaduras mostradas en ensayos de radiografía deben cumplir las normas de calidad pertinentes. Las discontinuidades distintas a las fisuras deberán ser evaluadas en función a si son alargadas o redondeadas.

Discontinuidad alargada, definida como aquella cuya longitud exceda tres veces su ancho.

Discontinuidad redondeada, definida como aquella cuya longitud sea tres veces su ancho o menos y pueda ser redonda o irregular.

La clasificación de criterios de aceptación se realiza en base al tipo de conexión y las cargas aplicadas. Clasificándolas en los siguientes grupos

- Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares Cargadas Estáticamente y para Conexiones Tubulares Cargadas Estática o Cíclicamente.
- Criterios de Aceptación de Discontinuidad para Conexiones No Tubulares Cargadas Cíclicamente.

Los rangos de evaluación se observan en el **ANEXO 1. Criterios de aceptación y rechazo según la norma AWS D1.1.**

La Tabla 3-6 expone la calificación cuantitativa y cualitativa de los criterios de selección para la norma AWS D1.1.

Tabla 3-6. Criterios de selección para AWS D1.1.

| CRITERIOS DE SELECCIÓN | | |
|-------------------------------|--|--------------------|
| Criterios | Determinaciones | Ponderación |
| I. Concepto | Los criterios de evaluación no son lo suficientemente claros, se prestan a distintas interpretaciones, el lenguaje utilizado no es lo suficientemente amigable | 5 |
| II. Prestaciones | Norma vigente, última actualización en 2015 No tan usada como otras normas. | 7 |
| III. Confiabilidad | Expone rangos de tolerancia en función de cada indicación presente en la radiografía. No clasifica defectos, evalúa discontinuidades en base al tipo de conexión y la carga a la que estará sometida. | 5 |
| IV. Alcance | Norma utilizada para soldadura estructural - Acero Evalúa discontinuidades de manera reducida sin énfasis en defectos específicos. | 5 |
| V. Accesibilidad | No se encuentra disponible en la biblioteca de la EPN Disponible en la web, versiones gratuitas completas | 6 |

(Fuente: Propia, 2016)

3.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE CRITERIOS DE NORMAS PARA ACEPTACIÓN Y RECHAZO EN DISCONTINUIDADES PRESENTES EN RADIOGRAFÍAS DE SOLDADURA.

Mediante las Tablas 3-4, 3-5, 3-6, se desarrolla la Tabla 3-7, con la cual se determina la alternativa más adecuada para la selección de criterios de aceptación o rechazo de discontinuidades en radiografías por soldadura.

Tabla 3-7. Selección de la alternativa para criterios de aceptación o rechazo de radiografías en soldadura.

| CRITERIOS DE SELECCIÓN | | | | | | | |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----|
| ALTERNATIVAS | I | II | III | IV | V | Ponderación | |
| A | 8 | 7 | 5 | 5 | 4 | 0,3 | I |
| B | 10 | 8 | 8 | 7 | 8 | 0,2 | II |
| C | 5 | 7 | 5 | 5 | 6 | 0,2 | III |
| | | | | | | 0,2 | IV |
| | | | | | | 0,1 | V |
| Total | 23 | 22 | 18 | 17 | 18 | 1 | |

(Fuente: Propia, 2016)

Tabla 3-8. Normalizada.

| CRITERIOS DE SELECCIÓN | | | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-----|
| ALTERNATIVAS | I | II | III | IV | V | Ponderación | |
| A | 0,348 | 0.318 | 0.278 | 0.294 | 0.222 | 0,3 | I |
| B | 0.435 | 0.364 | 0.444 | 0.412 | 0.444 | 0,2 | II |
| C | 0.217 | 0.318 | 0.278 | 0.294 | 0.333 | 0,2 | III |
| | | | | | | 0,2 | IV |
| | | | | | | 0,1 | V |

(Fuente: Propia, 2016)

Tabla 3-9. Resultados de selección.

| RESULTADOS | |
|----------------------|--------------|
| ALTERNATIVA A | 0.287 |
| ALTERNATIVA B | 0.417 |
| ALTERNATIVA C | 0.296 |

(Fuente: Propia, 2016)

De la Tabla 3-9, se concluye que los criterios a aplicarse de aceptación o rechazo estarán conforme a los existentes en la norma API 1104 (Alternativa B).

3.4. ALTERNATIVAS DE LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

Para el desarrollo del software se ejecuta un estudio de selección de los lenguajes de programación más apropiados para el procesamiento de imágenes de análisis.

En la Tabla 3-3., se establecerá criterios de sección y la ponderación de cada uno de los parámetros de acuerdo a las particularidades necesarias para elaboración del software de identificación de imágenes.

Tabla 3-10. Criterios de selección.

| Criterios de selección | | |
|------------------------|--|-------------|
| Criterios | Determinaciones | Ponderación |
| I. Concepto | ¿Desempeña las funciones y prestaciones específicas? ¿Es conocido su lenguaje de programación? | 0.1 |
| II. Prestaciones | ¿Presenta características enfocadas al procesamiento de imágenes? ¿Su lenguaje de programación es simple? | 0.2 |
| III. Confiabilidad | ¿Los datos resultantes son confiables? ¿Opera gran cantidad de datos sin inconveniente? | 0.2 |
| IV. Portabilidad | ¿Su lenguaje de programación es de código abierto? ¿Es compatible en cualquier tipo de sistema operativo? | 0.3 |
| V. Ergonomía | ¿Su interfaz gráfica es amigable con el usuario? ¿La entrada y salida de datos es procesada rápidamente? | 0.2 |
| TOTAL | | 1.0 |

(Fuente: Propia, 2016)

Para los criterios de selección mostrados en la Tabla 3-3. Se efectúa una sucesión de deducciones, cálculos simples y generales para cada alternativa dispuesta.

Las alternativas viables para la elaboración del programa son:

Alternativa A: Lenguaje de programación VISUAL BASIC.

Alternativa B: Lenguaje de programación GNU Octave.

Alternativa C: Lenguaje de programación MATLAB®.

Alternativa D: Lenguaje de programación Python.

3.4.1. ALTERNATIVA A: LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN VISUAL BASIC.

Es un lenguaje de programación que de modo sencillo y rápido crea programas para uso en Microsoft Windows. Contiene una serie de herramientas de simplificación de tareas de desarrollo. Como su nombre lo indica, hace referencia a la palabra "Visual", que es la técnica utilizada para crear lo que observa el usuario, la interfaz gráfica de usuario o GUI.

Mientras que la palabra "Basic", detalla el lenguaje de programación BASIC conocido como Código de Instrucción Simbólico Todo Propósito para Principiantes (Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code), un lenguaje utilizado por la mayor parte de programadores en la historia de la informática, que con sólo aprender algunas de sus características crea programas útiles.

Ventajas

- El lenguaje es simple y fácil su aprendizaje.
- Su interfaz gráfica se realiza mediante el arrastre de controles.
- Posee una librería de herramientas de objetos muy sencilla y de fácil uso.
- Tiene una curva de aprendizaje muy rápida.
- Es fácil la búsqueda de información, documentación y fuentes para los programas en la web.

Desventajas

- Genera archivos ejecutables sólo para Windows.
- Existe un único compilador, llamado igual que el lenguaje.
- La sintaxis del programa es exageradamente inflexible.
- Programas desarrollados son relativamente lentos.
- Muestra problemas en aplicaciones grandes como multimedia, videojuegos, editores gráficos, programas de oficina, etc.

En la Tabla 3-4., se realiza una evaluación cuantitativa y cualitativa de la alternativa A.

Tabla 3-11. Criterios de selección para Visual Basic.

| CRITERIOS DE SELECCIÓN | | |
|-------------------------------|--|--------------------------------|
| Criterios | Evaluación cualitativa | Evaluación cuantitativa |
| I. Concepto | Es uno de los lenguajes pioneros de programación de los más conocidos y utilizados, de rápido aprendizaje. Con pocas características para la programación. | 8 |
| II. Prestaciones | No es aconsejable para efectuar operaciones como la manipulación de objetos, utiliza considerable tiempo en la interpretación de resultados. | 5 |
| III. Confiabilidad | Proporciona resultados son confiables, pero no es adecuado para manipular cantidades grandes de datos. | 7 |
| IV. Portabilidad | El lenguaje de programación sólo funciona en la plataforma Windows y no es de código abierto. | 6 |
| V. Ergonomía | Su interfaz gráfica es muy didáctica, pero la señal de respuesta no proporciona mucha rapidez. | 7 |

(Fuente: Propia, 2016)

3.4.2. ALTERNATIVA B: LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN GNU OCTAVE.

Es un lenguaje de programación aplicado principalmente para los cálculos numéricos, con una interpretación de alto nivel. Facilita capacidades para el procesamiento numérico de problemas lineales, no lineales y otros tipos ensayos numéricos. Además, suministra facultades gráficas extensas para la visualización y operación de datos.

Octave utiliza una interfaz de línea de comandos interactiva, pero también es utilizado para escribir programas no interactivos. Octave tiene un lenguaje bastante parecido a otros programas como C++, MATLAB®, etc., para que la mayoría de los programas sean factibles de transportar.

Ventajas

- El lenguaje de alto nivel de programación rápida.
- Declaración y almacenamiento de variables previo a su uso.
- Fácil manipulación y exportación a otros formatos (.jpeg, .pdf, etc.).
- Disponibilidad de extensión de librerías de funciones fácilmente.

Desventajas

- Algunos lenguajes de programación no son libres.
- Algunas librerías y herramientas no son libres.
- Falta de operaciones como librerías para implementar en el software.
- Plataforma bastante carente a nivel de interfaz gráfica.

En la Tabla 3-5., se realiza una evaluación cualitativa y cuantitativa de la alternativa B.

Tabla 3-12. Criterios de selección para GNU Octave.

| CRITERIOS DE SELECCIÓN | | |
|-------------------------------|---|--------------------------------|
| Criterios | Evaluación cualitativa | Evaluación cuantitativa |
| I. Concepto | El lenguaje de alto nivel de programación rápida, algunos lenguajes como herramientas no son libres. | 8 |
| II. Prestaciones | Fácil manipulación y exportación a otros formatos. Tiene librerías enfocadas al procesamiento de imágenes para obtención de resultados. | 8 |
| III. Confiabilidad | Declaración y almacenamiento de variables previo a su uso. La interpretación de datos es muy confiable. | 9 |
| IV. Portabilidad | Utiliza licencia GPL, pero su lenguaje de programación es de código abierto, tiene fácil accesibilidad. | 7 |
| V. Ergonomía | La programación didáctica y de fácil aprendizaje. Plataforma bastante carente a nivel de interfaz gráfica. | 8 |

(Fuente: Propia, 2016)

3.4.3. ALTERNATIVA C: LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN MATLAB®.

Es un lenguaje de programación orientado a cálculos numéricos, para la realización de programas breves y simples. MATLAB® conocido como Matrix

Laboratory, es un conjunto de reglas e instrucciones para escribir programas de ordenador, de fácil aprendizaje. MATLAB® es un lenguaje dinámico e interpretado, por la forma versátil de uso de las variables a utilizar. Facilita facultades gráficas de alto nivel para la visualización y operación de datos.

MATLAB® es un entorno de desarrollo integrado, que no necesita de otras herramientas para hacerlo verdaderamente funcional y con facilidad de ser transportado a otro tipo de lenguajes programables.

Ventajas

- Amplio soporte matemático y funciones ya desarrolladas.
- Alta precisión con resultados y rápido prototipado.
- Integración con dispositivos hardware
- Lenguaje fácil de aprender.
- Realiza gráficas 2D y 3D fácilmente
- Cuenta con una extensa biblioteca de funciones de fácil uso, que cubren las disciplinas de la Ciencia y la Ingeniería.

Desventajas

- Posee algoritmos complejos con modelos de datos complejos organizados de forma jerárquica.
- Computación de alto rendimiento.
- Programación con más de miles de líneas no recomendable.
- Problemas eventuales de velocidad.

En la Tabla 3-6., se realiza una evaluación cualitativa y cuantitativa de la alternativa C.

Tabla 3-13. Criterios de selección para MATLAB®.

| CRITERIOS DE SELECCIÓN | | |
|-------------------------------|---|--------------------------------|
| Criterios | Evaluación cualitativa | Evaluación cuantitativa |
| I. Concepto | Lenguaje de alto nivel de programación, dinámico, interpretado, rápido y orientado a cálculos numéricos, programa muy conocido y comercial. | 10 |
| II. Prestaciones | Cuenta con una extensa biblioteca de funciones de fácil uso, que cubren las disciplinas de la Ciencia y la Ingeniería. | 9 |
| III. Confiabilidad | Declaración y almacenamiento de variables previo a su uso. La interpretación de datos es muy confiable y alta precisión con resultados. | 9 |
| IV. Portabilidad | Utiliza licencia comercial, lenguaje de código abierto, tiene fácil accesibilidad hacia otro tipo de programas y plataformas gráficas. | 10 |
| V. Ergonomía | Facilita facultades gráficas de alto nivel para la visualización y operación de datos. | 9 |

(Fuente: Propia, 2016)

3.4.4. ALTERNATIVA D: LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON.

Es un lenguaje de programación muy conocido en la actualidad, así como simple por su facilidad en iniciarse en este lenguaje. Es aplicado principalmente para crear todo tipo de programas y también se pueden desarrollar páginas Web.

Es un programa muy versátil y práctico ya que pueda funcionar en diversas plataformas como: Linux, Windows, Macintosh, Solaris, etc., por ser Open Source de naturaleza. Es un lenguaje construido sobre objetos que combinan datos y funcionalidades, que contiene una gran cantidad de librerías, tipos de datos y funciones incorporadas en el propio lenguaje.

Python utiliza una sintaxis muy visual y de carácter obligatorio (con márgenes), son funciones las cuales ayudan a realizar varias tareas sin necesidad de tener que volver a programarlas.

Ventajas

- Programación rápido de desarrollar.
- Sencillez y velocidad.
- Sus bibliotecas hacen gran parte del trabajo.
- Soporta varias bases de datos.

Desventajas:

- No hay muchos programadores en esta tecnología y la documentación es muy escasa en español.
- No pueda distinguir entre la declaración y uso de una variable, necesita un manejo estático.
- Algunas librerías presentan problemas con el sistema operativo Windows.

En la Tabla 3-7, se realiza una evaluación cualitativa Y cuantitativa de la alternativa D.

Tabla 3-14. Criterios de selección para Python.

| CRITERIOS DE SELECCIÓN | | |
|-------------------------------|--|--------------------------------|
| Criterios | Evaluación cualitativa | Evaluación cuantitativa |
| I. Concepto | El lenguaje de programación es de alto nivel y rápida, compatible para algunas plataformas computacionales. | 8 |
| II. Prestaciones | Contiene algunas librerías enfocadas al procesamiento de imágenes para obtención de resultados. | 8 |
| III. Confiabilidad | La interpretación de datos es confiable y lo realiza en dos etapas, interpreta el código fuente y luego trabaja con la máquina física. | 9 |
| IV. Portabilidad | Su lenguaje de programación es de código abierto, algunas librerías presentan problemas con el sistema operativo Windows. | 7 |
| V. Ergonomía | Su interfaz gráfica es muy didáctica, pero la documentación es muy escasa en español. | 8 |

(Fuente: Propia, 2016)

3.5. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

Mediante las Tablas 3-11., 3-12., 3-13., 3-14., se desarrolla la Tabla 3-15. Y se determina la alternativa más adecuada para desarrollar el software de procesamiento de imágenes.

Tabla 3-15. Selección de la alternativa para elaboración de software.

| ALTERNATIVAS | CRITERIOS DE SELECCIÓN | | | | | Ponderación | |
|--------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----|
| | I | II | III | IV | V | | |
| A | 8 | 5 | 7 | 6 | 7 | 0,1 | I |
| B | 8 | 8 | 9 | 7 | 8 | 0,2 | II |
| C | 10 | 9 | 9 | 10 | 9 | 0,2 | III |
| D | 8 | 8 | 9 | 7 | 8 | 0,3 | IV |
| | | | | | | 0,2 | V |
| Total | 34 | 30 | 34 | 30 | 32 | 1 | |

(Fuente: Propia, 2016)

Tabla 3-16. Normalizada.

| ALTERNATIVAS | CRITERIOS DE SELECCIÓN | | | | | Ponderación | |
|--------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------|-----|
| | I | II | III | IV | V | | |
| A | 0,235 | 0,167 | 0,201 | 0,2 | 0,219 | 0,1 | I |
| B | 0,235 | 0,267 | 0,265 | 0,233 | 0,25 | 0,2 | II |
| C | 0,294 | 0,3 | 0,265 | 0,333 | 0,281 | 0,2 | III |
| D | 0,235 | 0,267 | 0,265 | 0,233 | 0,25 | 0,3 | IV |
| | | | | | | 0,2 | V |

(Fuente: Propia, 2016)

Tabla 3-17. Resultados de selección.

| RESULTADOS | |
|----------------------|--------------|
| ALTERNATIVA A | 0,205 |
| ALTERNATIVA B | 0,250 |
| ALTERNATIVA C | 0,295 |
| ALTERNATIVA D | 0,250 |

(Fuente: Propia, 2016)

De la Tabla 3-17., se concluye que el lenguaje de programación MATLAB® es el más apropiado para la elaboración del software de procesamiento de imágenes (alternativa C).

3.6. RANGOS PARA EL PROCESAMIENTO DE RADIOGRAFÍAS

3.6.1. CLASIFICACIÓN DE DISCONTINUIDADES SEGÚN LA FORMA

Conforme a la base de datos radiográfica existente en el laboratorio de END se establece una clasificación inicial de discontinuidades en función de la forma, en la cual se diferencia entre figuras circulares y rectangulares.

Para determinar la circularidad de una figura se establece que:

$$Métrica = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (\text{Ec. 3-1})$$

Dónde:

A = Área de la forma detectada.

P = Perímetro de la forma detectada.

Se establece un límite de métrica para la diferenciación entre círculos y otras figuras en base a la siguiente tabla de radiografías con poros (círculos) y resto de discontinuidades.

Tabla 3-18. Defecto vs. Métrica

| Probeta | Discontinuidad | Área[mm ²] | Perímetro[mm] | Métrica |
|---------|----------------|------------------------|---------------|---------|
| 1 | Escoria | 2,17 | 7,97 | 0,43 |
| 2 | Escoria | 4,68 | 12,13 | 0,4 |
| 3 | Escoria | 0,63 | 4,23 | 0,44 |
| 4 | Escoria | 3,27 | 9,11 | 0,49 |
| 5 | Escoria | 1,69 | 6,5 | 0,5 |
| 6 | Escoria | 3,26 | 12,43 | 0,26 |
| 7 | Escoria | 0,11 | 1,5 | 0,62 |
| 8 | F. Fusión | 3,18 | 10,76 | 0,35 |
| 9 | F. Fusión | 6,26 | 23,42 | 0,14 |
| 10 | F. Fusión | 0,54 | 3,69 | 0,5 |
| 11 | F. Fusión | 3,38 | 12,53 | 0,27 |
| 12 | F. Penetración | 2,08 | 19,06 | 0,07 |
| 13 | F. Penetración | 0,83 | 7,6 | 0,18 |
| 14 | F. Penetración | 18,67 | 51,77 | 0,09 |
| 15 | F. Penetración | 0,54 | 5,44 | 0,23 |
| 16 | Mordedura | 1 | 6,43 | 0,3 |
| 17 | Mordedura | 7,1 | 30,18 | 0,1 |
| 18 | Porosidad | 0,5 | 3,01 | 0,7 |
| 19 | Porosidad | 0,85 | 3,47 | 0,89 |
| 20 | Porosidad | 0,2 | 1,8 | 0,79 |
| 21 | Porosidad | 0,24 | 1,85 | 0,89 |
| 22 | Porosidad | 0,56 | 2,96 | 0,81 |
| 23 | Porosidad | 0,88 | 3,83 | 0,76 |
| 24 | Porosidad | 1,21 | 4,74 | 0,68 |
| 25 | Porosidad | 2,64 | 6,92 | 0,69 |
| 26 | Porosidad | 2,34 | 5,61 | 0,94 |
| 27 | Porosidad | 1,03 | 4,02 | 0,8 |
| 28 | Porosidad | 1,23 | 4,54 | 0,75 |
| 29 | Porosidad | 1,63 | 4,96 | 0,83 |
| 30 | Porosidad | 0,77 | 3,52 | 0,78 |
| 31 | Porosidad | 0,46 | 2,65 | 0,82 |
| 32 | Porosidad | 0,58 | 2,91 | 0,85 |
| 33 | Quemón | 5,14 | 20,22 | 0,16 |
| 34 | Quemón | 18,78 | 23,92 | 0,41 |
| 35 | Quemón | 50,75 | 54,01 | 0,22 |

(Fuente: Propia, 2016)

La Tabla 3-18. se obtuvo con una evaluación inicial de procesamiento de imagen con el fin de obtener área y perímetro de las formas encontradas en imágenes de radiografía con defectos específicos obtenidas del laboratorio de END.

Se determina de esta manera que los poros (círculos) tienen valores de métrica superiores a 0.68, con lo que se establece este valor como límite entre poros y el resto de discontinuidades.

3.6.2. CLASIFICACIÓN DE DISCONTINUIDADES NO CIRCULARES.

Con un segundo tratamiento de imagen las discontinuidades no circulares se aproximan a figuras con forma de cuadrados y rectángulos.

Las figuras con forma de cuadrados se establecen como quemón o escoria y las discontinuidades alargadas; falta de fusión, falta de penetración y mordedura, como rectángulos.

Para determinar un límite de forma de quemón y escoria se realiza el siguiente análisis (ver Figura 3-3.):



Figura 3-3. Quemón o escoria según área perímetro.

(Fuente: Propia, 2016)

$$\frac{A}{P^2} = \frac{a^2}{(4a)^2} = \frac{1}{16} = 0.0625 \quad (\text{Ec. 3-2})$$

En base a esta premisa y con los valores obtenidos en la Tabla 3-19 se establece un rango que va desde 0.0600 a 0.0625 para discontinuidades con forma de cuadrado, y valores menores a 0.0600 discontinuidades con forma de rectángulo.

Tabla 3-19. Relaciones de forma, no circulares.

| Probeta | Discontinuidad | Área [mm] | Perímetro [mm] | A/P ² |
|---------|----------------------|-----------|----------------|------------------|
| 1 | Escoria | 0,428 | 2,635 | 0,0617 |
| 2 | Escoria | 0,683 | 3,309 | 0,0624 |
| 3 | Escoria | 0,611 | 3,186 | 0,0602 |
| 4 | Escoria | 3,692 | 7,721 | 0,0619 |
| 5 | Escoria | 0,497 | 2,819 | 0,0625 |
| 6 | Quemón | 109,928 | 42,380 | 0,0612 |
| 7 | Quemón | 92,728 | 39,032 | 0,0609 |
| 8 | Quemón | 69,647 | 33,480 | 0,0621 |
| 9 | Falta de Penetración | 79,544 | 58,517 | 0,0232 |
| 10 | Falta de Penetración | 4,881 | 9,314 | 0,0563 |
| 11 | Falta de Penetración | 3,176 | 7,292 | 0,0597 |
| 12 | Falta de Fusión | 1,704 | 5,392 | 0,0586 |
| 13 | Falta de Fusión | 4,967 | 9,620 | 0,0537 |
| 14 | Mordedura | 0,589 | 3,186 | 0,0580 |
| 15 | Mordedura | 1,883 | 5,699 | 0,0580 |

(Fuente: Propia, 2016)

3.6.3. DIMENSIONES DEL CORDÓN.

Para establecer el porcentaje de raíz en función al ancho del cordón, se realizó medidas de dichas dimensiones en radiografías existentes en el laboratorio de ensayos no destructivos. La Tabla 3-20. muestra los datos obtenidos.

Tabla 3-20. Dimensiones del cordón.

| Probeta | Ancho de Cordón | Ancho de Raíz | % de Ancho de Raíz en función del Ancho de Cordón |
|---------|-----------------|---------------|---|
| 1 | 18 | 4 | 22 |
| 2 | 16 | 3 | 19 |
| 3 | 14 | 4 | 29 |
| 4 | 16 | 3 | 19 |
| 5 | 14 | 3 | 21 |
| 6 | 16 | 3 | 19 |
| 7 | 15 | 3 | 20 |
| 8 | 14 | 4 | 29 |
| 9 | 16 | 4 | 25 |
| 10 | 13 | 3 | 23 |
| 11 | 22 | 4 | 18 |
| 12 | 26 | 4 | 15 |
| 13 | 25 | 4 | 16 |
| 14 | 14 | 3 | 21 |
| 15 | 13 | 4 | 31 |
| 16 | 12 | 3 | 25 |
| 17 | 12 | 3 | 25 |
| 18 | 13 | 3 | 23 |
| 19 | 24 | 5 | 21 |
| 20 | 20 | 4 | 20 |
| 21 | 17 | 4 | 24 |
| 22 | 18 | 4 | 22 |
| 23 | 15 | 3 | 20 |
| 24 | 6 | 2 | 33 |
| 25 | 12 | 2 | 17 |
| | | Promedio | 22 |

(Fuente: Propia, 2016)

Con lo obtenido se determina que el ancho de raíz será aproximadamente el 22% del ancho del cordón.

En base a las radiografías que presentan discontinuidades de quemón se puede deducir que dicha discontinuidad presenta dimensiones equivalentes al ancho de raíz, por lo que se establece que para diferenciar entre quemón y escoria el límite será 20% del ancho del cordón (sb1mm), es decir:

$$\text{Escoria} \leq 0.2sb1\text{mm}$$

$$\text{Quemón} > 0.2sb1\text{mm}$$

Para definir rangos en discontinuidades alargadas como falta de penetración, falta de fusión y mordeduras se analizan radiografías con dichas discontinuidades en función de la posición en el ancho del cordón. La siguiente Tabla 3-21. muestra los resultados de las evaluaciones.

Tabla 3-21. Posición de discontinuidades alargadas.

| Probeta | Discontinuidad | Posición en Y [mm] | Ancho del cordón [mm] | Posición en % respecto al ancho del cordón |
|---------|----------------------|--------------------|-----------------------|--|
| 1 | Falta de Fusión | 1,03 | 15,54 | 6,6% |
| 2 | Falta de Fusión | 11,28 | 18,47 | 61,1% |
| 3 | Falta de Fusión | 6,87 | 22,65 | 30,3% |
| 4 | Falta de Fusión | 15,20 | 17,42 | 87,3% |
| 5 | Falta de Fusión | 7,45 | 20,78 | 35,9% |
| 6 | Falta de penetración | 10,65 | 20,58 | 51,7% |
| 7 | Falta de penetración | 9,01 | 19,33 | 46,6% |
| 8 | Falta de penetración | 13,58 | 28,43 | 47,8% |
| 9 | Falta de penetración | 8,63 | 15,45 | 55,9% |
| 10 | Falta de penetración | 7,97 | 18,27 | 43,6% |
| 11 | Mordedura | 16,93 | 17,37 | 97,4% |
| 12 | Mordedura | 0,53 | 12,35 | 4,3% |
| 13 | Mordedura | 0,23 | 14,19 | 1,6% |
| 14 | Mordedura | 10,51 | 25,65 | 41,0% |
| 15 | Mordedura | 11,68 | 20,16 | 57,9% |

(Fuente: Propia, 2016)

Las zonas se establecerán de la siguiente manera conforme se ve en la Figura 3-4. con base en los datos obtenidos de porcentaje de posición respecto al ancho de soldadura.

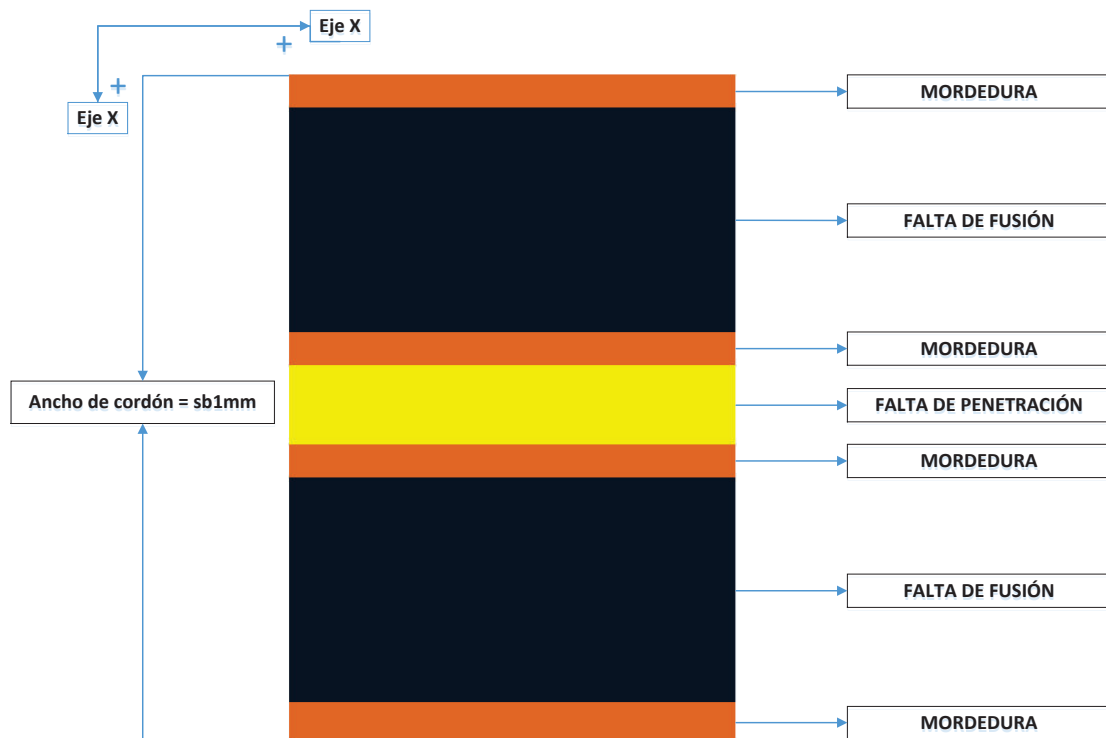


Figura 3-4. Ancho del cordón y sus zonas.

(Fuente: Propia, 2016)

Todos los rangos que se establecidos se resumen en la Figura 3-5.

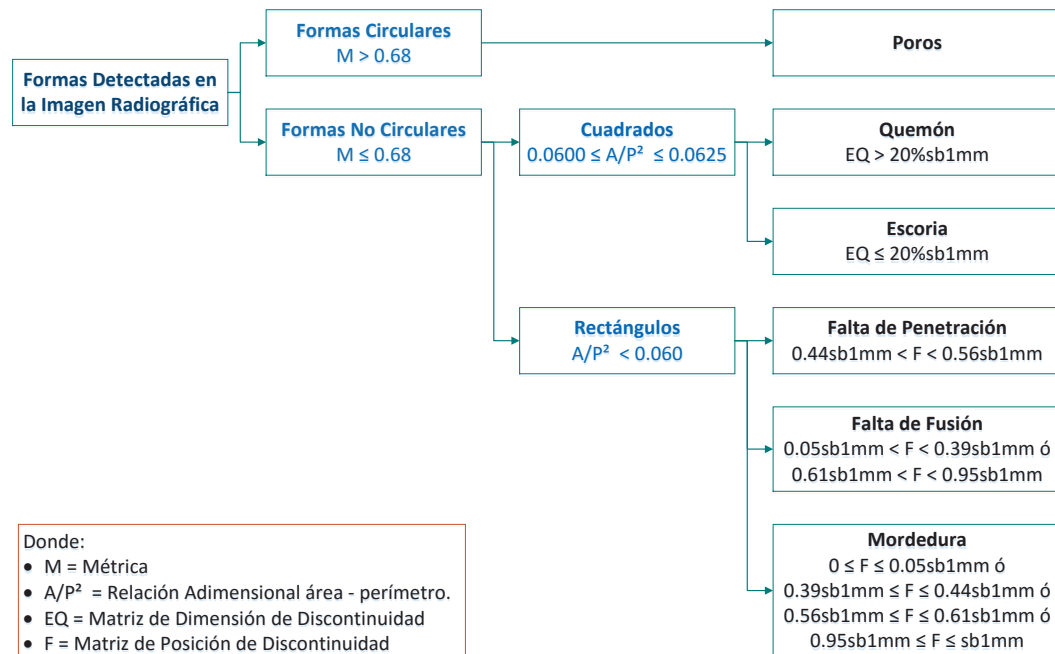


Figura 3-5. Resumen de Rangos.

(Fuente: Propia, 2016)

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DEL SOFTWARE

4.1. INTRODUCCIÓN

Para la simulación y elaboración del software se utilizó una herramienta muy útil en la ingeniería como es el lenguaje de programación MATLAB®, el cual permite una gran ejecución de funciones para el tratamiento de datos, visualización de resultados e interpretación gráfica.

En la actualidad este tipo de lenguaje programable ofrece herramientas de tratamiento y procesamiento de imagen, interfaz gráfica con vinculación a otro tipo de software convirtiéndose en un aliado importante para el uso en la industria de procesos ingenieriles.

Para el proyecto en estudio hemos utilizado este sistema operativo para analizar imágenes, que permita la detección de discontinuidades en películas radiográficas, usando un tratamiento de imágenes de acuerdo al reconocimiento de figuras.

4.2. COMANDOS UTILIZADOS EN TRATAMIENTO DE IMAGEN

- **Imread**

Imagen = imread (fullfile (dire, nombre)), direcciona y lee la imagen especifica desde el directorio de imágenes de acuerdo a su formato y extensión.

- **Imcrop**

B = imcrop (nombre), corta la imagen según la sección que el usuario lo requiera y la devuelve recortada.

- **Rgb2gray**

$I = \text{rgb2gray}(\text{RGB})$, transforma una imagen de color real a una imagen en escala de grises conforme con la intensidad que presenta.

- **Imbinarize**

$\text{BW} = \text{imbinarize}(I, \text{'adaptive'}, \text{Name}, \text{Value})$, convierte una imagen en otra binaria que permite controlar su umbral de adaptación de la imagen.

- **Not**

$\text{BW1} = \text{not}(\text{imagen binaria})$, cambia la matriz de colores de blanco al negro y viceversa de la imagen.

- **Bwareaopen**

$\text{BW2} = \text{bwareaopen}(\text{BW1}, P)$, descarta todos los elementos conectados a la imagen que tengan un valor a P píxeles de la imagen binaria, devolviéndola en otra BW2.

- **Strel**

$\text{SE} = \text{strel}(\text{'disk'}, R, N)$, instauro un elemento estructural en forma de disco, con R radio del estructurante y N número de elementos que aproximan la forma del disco.

- **Imclose**

$\text{BW3} = \text{imclose}(\text{imagen binaria}, \text{se})$, efectúa operaciones morfológicas de dilatación y erosión en la imagen binaria volviéndola cerrada, con el uso de la matriz estructural ya tratada.

- **[B, L] = bwboundaries**

$[B, L] = \text{bwboundaries}(\text{imagen binaria})$, muestra una matriz con nombre L, donde todos los elementos están etiquetados.

- **Regionprops**

stats = regionprops (L, propiedades), muestra medidas de propiedades específicas de la matriz de etiquetas L, de cada zona en la imagen binaria conforme un límite.

4.3. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

En el desarrollo del software de visión artificial existen algunas etapas y procesos internos que se realizan con el lenguaje de programación MATLAB®, para lograr el análisis esperado de interpretación de discontinuidades en radiografías de soldadura.

1. Llama la imagen del directorio de archivos, presentándola en el tamaño predestinado para la imagen en la interfaz.

```
imagen = imread ('Probeta_B1.jpg');  
imshow (imagen);
```

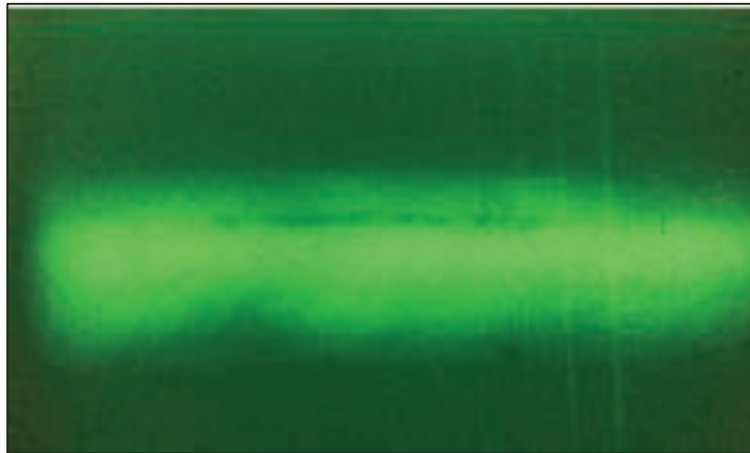


Figura 4-1. Imagen Probeta_B1.jpg

(Fuente: Propia, 2016)

2. Corta la imagen RGB por el cordón de soldadura para el análisis pasa por un filtro de escala de grises, para convertirla en una imagen binaria que permita controlar su umbral de adaptación elegido.

```
B = imcrop (imagen);
```

```
I = rgb2gray (B);
```

```
bw = imbinarize ( I , 'adaptive', 'ForegroundPolarity', 'dark', 'Sensitivity', 0.50);
```

```
imshow ( bw );
```

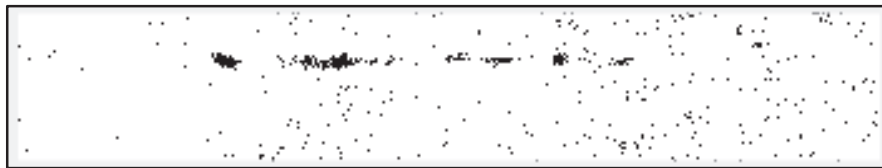


Figura 4-2. Imagen binaria de cordón de soldadura.

(Fuente: Propia, 2016)

3. Invierte colores blanco y negro de la imagen binaria.

```
bw = not (bw);
```

```
imshow (bw);
```

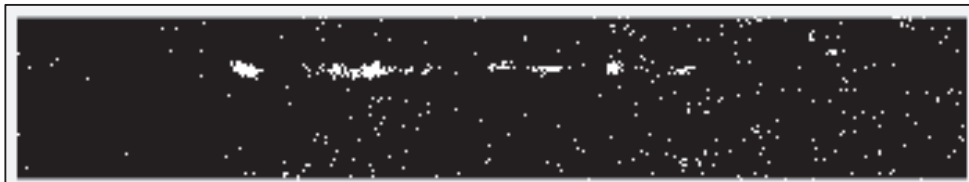


Figura 4-3. Imagen binaria invertida los colores.

(Fuente: Propia, 2016)

4. Elimina los pixeles menores a 100, rellena huecos formando una estructura en forma de disco en los elementos encontrados y cierra la imagen.

```

bw = bwareaopen (bw, 100, 18);
se = strel ('disk', 8);
bw = imclose (bw, se);
imshow (bw);

```



Figura 4-4. Imagen binaria cerrada.

(Fuente: Propia, 2016)

5. Detalla el número de contornos de elementos existentes en la imagen, le asigna una etiqueta y color distinto.

```

[ B , L ] = bwboundaries (bw , 'holes' , 4 );
imshow ( label2rgb ( L , @jet , [ .5 .5 .5 ]))
hold on

```



Figura 4-5. Imagen procesada con etiqueta.

(Fuente: Propia, 2016)

6. Etiqueta los elementos encontrados de acuerdo al límite de forma como es la métrica, para diferenciar las discontinuidades y evaluarlas.

```

stats = regionprops (L);
threshold = 0.68;
n = 0; m = 0; c = 0; v = 0; e = 0; e1 = 0; g = 0; g1 = 0; g2 = 0;

for k = 1 : length ( B )
    boundary = B { k };
    delta_sq = diff ( boundary ).^2;
    perimeter = sum ( sqrt ( sum ( delta_sq , 2 ))) ;
    area = stats ( k ) . Area;
    metric = 4 *pi * area / perimeter^2;

    if metric > threshold
        n = n + 1;
        metric_string = sprintf ( '%2.2f' , metric );
        centroid = stats ( k ) . Centroid;

        C ( n , : ) = centroid;
        A ( n , : ) = area;
        plot ( centroid ( 1 ) , centroid ( 2 ) , 'ko' );
        text ( boundary ( 1 , 2 )-35, boundary ( 1 , 1 )+13, metric_string, 'Color', 'y' ,
            'FontSize' , 10 , 'FontWeight' , 'bold' );

        Amm = A * 1 / coef ;

        for k1 = 1 : length ( Amm )
            d ( k1 , : ) = ( sqrt ( ( Amm ( k1 ) *4 ) /pi ));
        end

    else

        m = m + 1;
        metric_string = sprintf ( '%2.2f' , metric );

```

```

BH = stats ( k ) . BoundingBox;
centroid = stats ( k ) . Centroid;

LA1 ( m , : ) = BH ;
plot ( centroid ( 1 ) , centroid ( 2 ) , 'ko' );
text ( boundary ( 1 , 2 )-35 , boundary ( 1 , 1 )+13, metric_string, 'Color', 'y',
'FontSize', 10 , 'FontWeight' , 'bold' );

LA1mm = LA 1 * 1 / sqrt ( coef );

end
end
end

for j = 1: length ( B )
    boundary = B { j };
    plot ( boundary ( : , 2 ) , boundary ( : , 1 ) , 'w' , 'LineWidth' , 1 )
end

```

La evaluación presentada en la siguiente figura.



Figura 4-6. Imagen etiquetada con métrica de forma.

(Fuente: Propia, 2016)

7. Evaluación de imagen radiográfica.

```
FF1 =  
  
    2.9718  
    6.1275  
    1.1642  
    2.1446  
    3.0331  
    1.5931  
  
R5 =  
  
Falta de Fusión Rechazada
```

Figura 4-7. Imagen evaluada en el software.

(Fuente: Propia, 2016)

4.4. SIMULACIÓN DEL SOFTWARE

La simulación del sistema se lo realiza desde un ordenador que tenga entre sus programas de uso a MATLAB® 2016, que presta una infinidad de funciones actualizadas con las que se realizó la programación del software.

A continuación, se presenta los pasos necesarios para la interpretación y evaluación de discontinuidades de soldadura.

1. Abrir MATLAB® 2016 en el ordenador.



Figura 4-8. Acceso directo MATLAB® 2016

(Fuente: Propia, 2016)

2. Cargar el archivo INTRODUCCION y leer las instrucciones para continuar.



Figura 4-9. Introducción del software.

(Fuente: Propia, 2016)

3. Iniciar el programa ALEMAN_NARVAEZ, abrir una imagen radiográfica del directorio para su análisis.

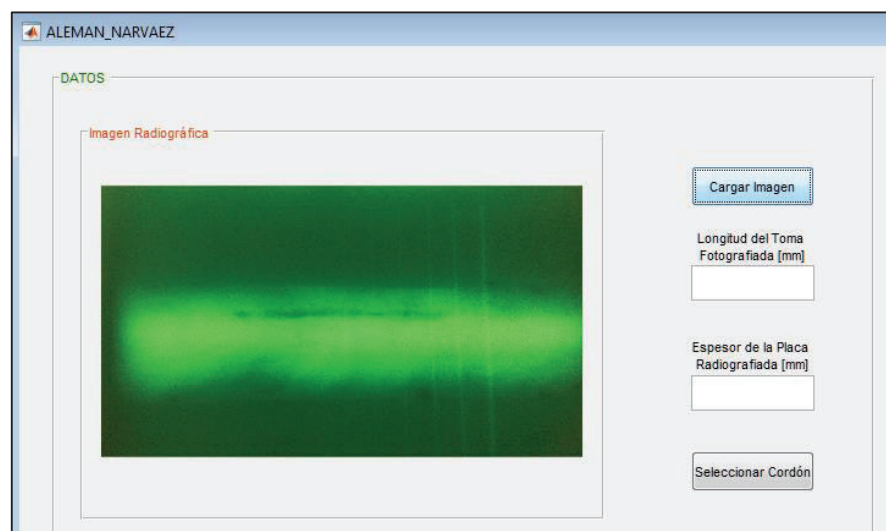


Figura 4-10. Inicio del programa ALEMAN_NARVAEZ.

(Fuente: Propia, 2016)

4. Llenar los datos requeridos y seleccionar el cordón de soldadura para su interpretación.

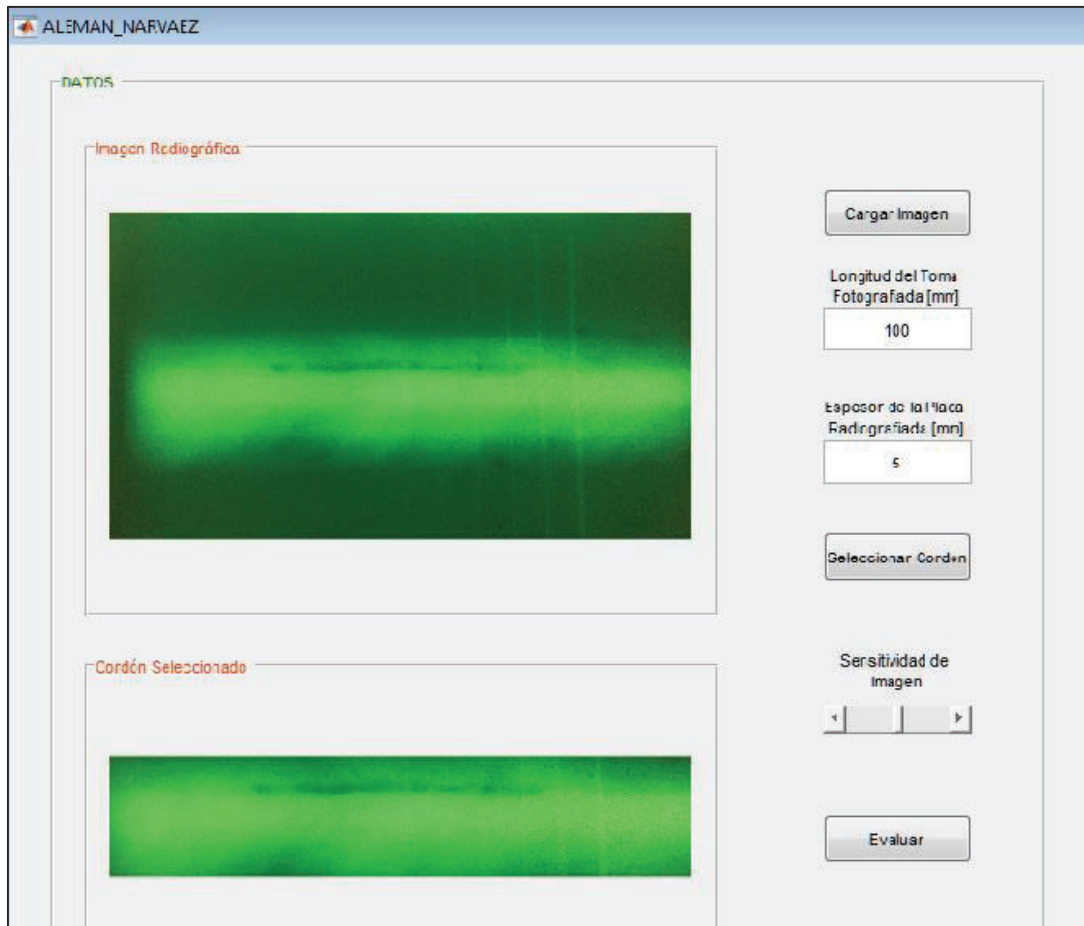


Figura 4-11. Cordón seleccionado de imagen radiográfica.

(Fuente: Propia, 2016)

5. Ajuste de umbral de adaptación de imagen (sensibilidad), para la evaluación conforme lo sugerido en el manual de usuario.



Figura 4-12. Ajuste de sensibilidad de la imagen.

(Fuente: Propia, 2016)

6. Evaluar imagen radiográfica

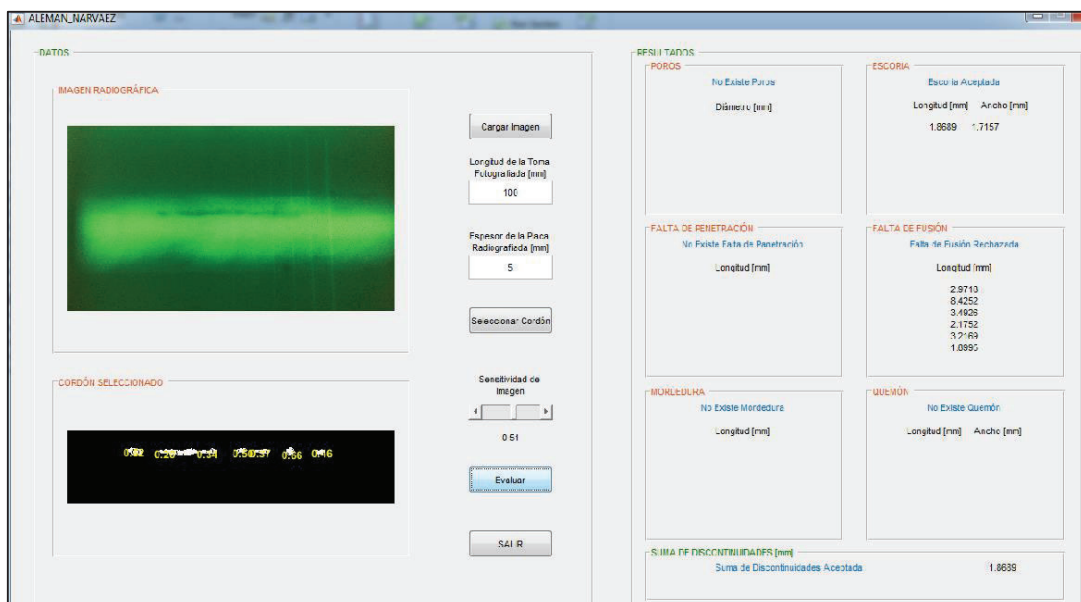


Figura 4-13. Radiografía evaluada e interpretada.

(Fuente: Propia, 2016)

4.5. MANUAL DE USUARIO.

4.5.1. INTRODUCCIÓN

El programa **ALEMAN_NARVAEZ** versión 001, permite identificar discontinuidades presentes en radiografías tomadas a soldaduras, clasificándolas por tipo de discontinuidad (6 tipos de discontinuidad) y evaluándolas según los criterios de aceptación y rechazo de la norma API 1104.

4.5.2. TEORÍA DE FUNCIONAMIENTO.

El programa **ALEMAN_NARVAEZ** procesa una fotografía de una radiografía de soldadura usando funciones de MATLAB® para la detección de formas.

Según la forma detectada inicialmente se clasificarán en dos grupos de formas: circulares y no circulares; y en un segundo proceso (evaluación profunda) las formas no circulares se dividen en cuadrados y rectángulos, para finalmente reclasificarse en 6 tipos de discontinuidades; poros, escoria, quemón, falta de fusión, falta de penetración y mordedura.

Posteriormente se realiza una valoración de dichas discontinuidades usando los criterios de la norma API 1104 para identificar el nivel de aceptación que tiene cada una y en conjunto.

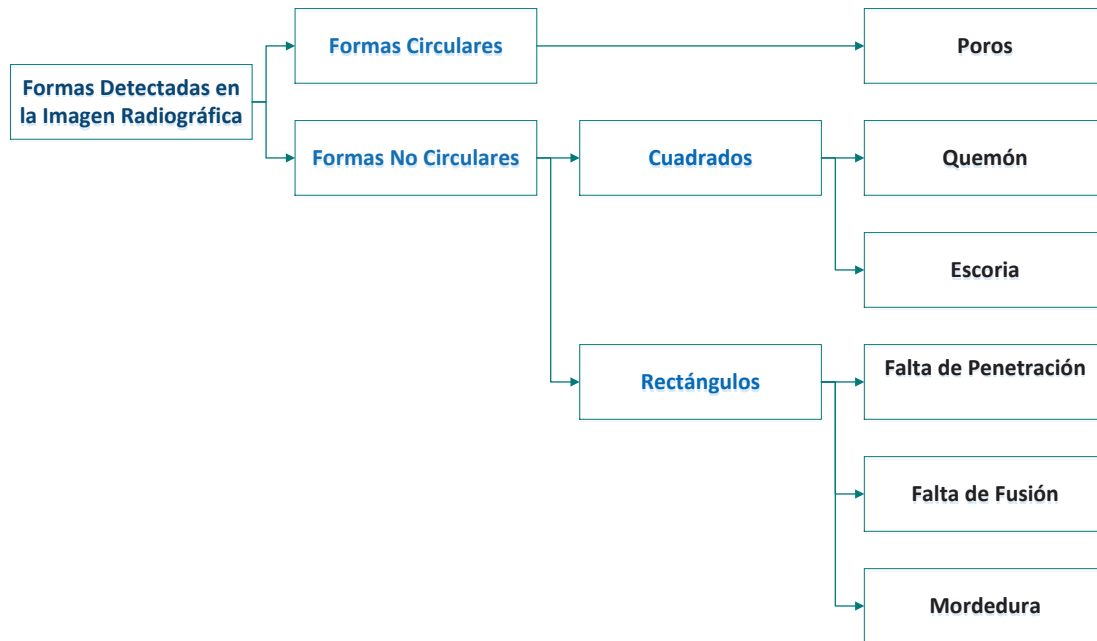


Figura 4-14. Diagrama de clasificaciones de Formas detectadas en una imagen radiográfica.

(Fuente: Propia, 2016)

4.5.3. GENERALIDADES DEL SISTEMA

El sistema cuenta con dos ventanas de acción: **INTRODUCCIÓN Y ALEMAN_NARVAEZ**.

4.5.3.1. INTRODUCCIÓN

Es la primera pantalla que se muestra, Figura 4-15, y cuenta con una bienvenida y una advertencia al uso del programa. Se visualizan dos botones **MANUAL** e **INICIO**, que nos dirigirían al manual de usuario y a la ventana de **ALEMAN_NARVAEZ** respectivamente.



Figura 4-15. Ventana INTRODUCCION.
(Fuente: Propia, 2016)

4.5.3.2. ALEMAN_NARVAEZ

Es una pantalla donde se van a evaluar las fotografías de las radiografías cuenta con dos secciones, **DATOS** y **RESULTADOS**. Dicha pantalla se muestra a continuación en la Figura 4.16.

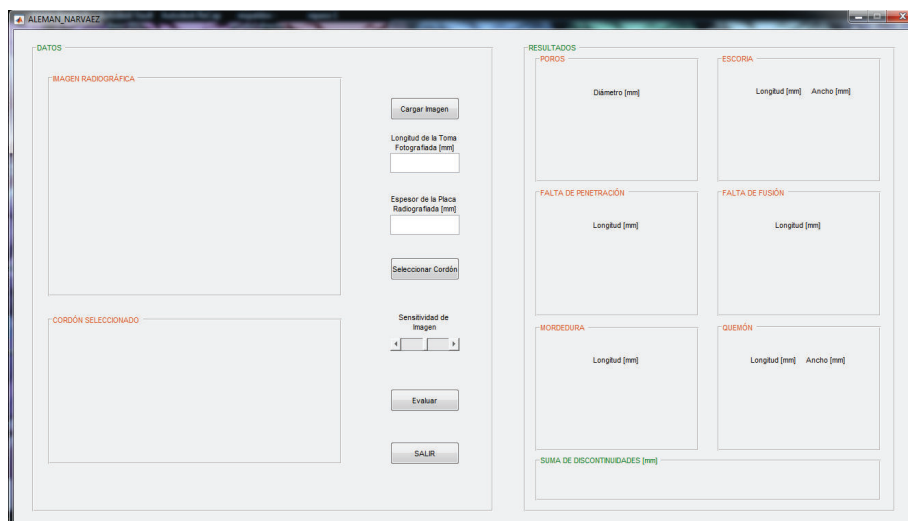


Figura 4-16. Ventana ALEMAN_NARVAEZ.
(Fuente: Propia, 2016)

4.5.3.3. DATOS.

La sección **DATOS** cuenta con dos visualizadores de imagen:

El primero mostrará la imagen seleccionada a analizar en dimensiones a escala de la imagen real ocupando la mayor cantidad de espacio de la subsección **IMAGEN RADIOGRÁFICA** como se muestra en la Figura 4-17.



Figura 4-17. Subsección IMAGEN RADIOGRÁFICA.
(Fuente: Propia, 2016)

El segundo visualizador de imagen mostrará la selección del cordón Figura 4-18., y posteriormente la imagen analizada para ser evaluada Figura 4-19.



Figura 4-18. Subsección CORDÓN SELECCIONADO sin análisis.
(Fuente: Propia, 2016)

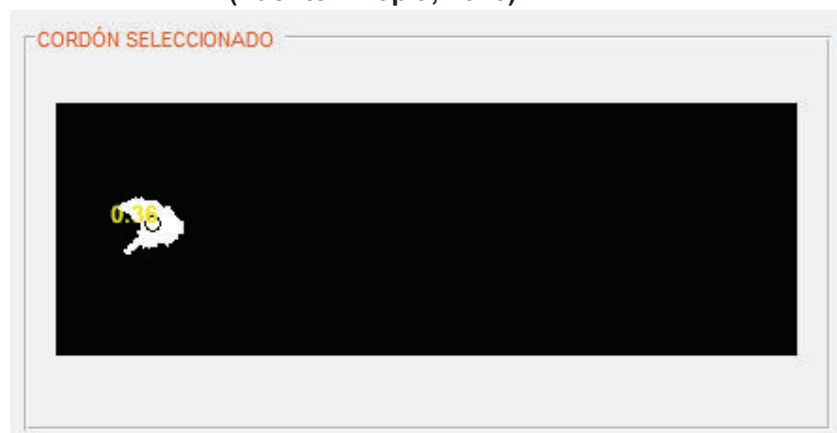


Figura 4-19. Subsección CORDÓN SELECCIONADO analizado.
(Fuente: Propia, 2016)

En la sección **DATOS** existen: 4 botones, 2 campos editables y un deslizador.

Cargar Imagen.

Este botón abre una ventana **Abrir** que permite seleccionar una imagen del computador en el que se haya ejecutado el programa o desde un dispositivo de almacenamiento según sea el caso. Figura 4-20. La imagen seleccionada se visualizará en la subsección **IMAGEN RADIOGRÁFICA**.

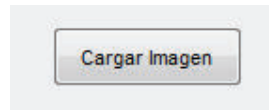


Figura 4-20. Botón Cargar Imagen.
(Fuente: Propia, 2016)

Longitud de la Toma Fotografiada.

Este campo editable permite ingresar el valor de la longitud de la radiografía en milímetros [mm] que fue fotografiada. Figura 4-20.

A form with a light gray background. At the top, the text "Longitud de la Toma Fotografiada [mm]" is displayed. Below this text is a white rectangular input field containing the number "75".

Figura 4-21. Longitud de la Toma Fotografiada.
(Fuente: Propia, 2016)

Espesor de la Placa Radiografiada.

Este campo editable permite ingresar el valor del espesor de la de la placa de la radiografía en milímetros [mm], en caso de ser una soldadura de dos placas con distinto espesor, se deberá colocar el valor de la placa que tenga el menor espesor. Figura 4-22.

A form with a light gray background. At the top, the text "Espesor de la Placa Radiografiada [mm]" is displayed. Below this text is a white rectangular input field containing the number "5".

Figura 4-22. Espesor de la Placa Radiografiada.
(Fuente: Propia, 2016)

Seleccionar Cordón.

Este botón permite seleccionar una parte de la imagen que se encuentra en la subsección **IMAGEN RADIOGRÁFICA** la misma que se visualizará en **CORDÓN SELECCIONADO**. Figura 4-23.

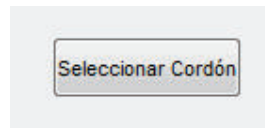


Figura 4-23. Botón Seleccionar Cordón.
(Fuente: Propia, 2016)

Sensitividad de Imagen.

Este deslizador permite establecer un valor con el que se procesará la imagen, si se coloca un valor alto de sensibilidad se visualizarán una mayor cantidad de pixeles. Cuando se escoge un valor en el deslizador, la imagen de **CORDÓN SELECCIONADO** cambiara a imagen binaria. Figura 4-24.

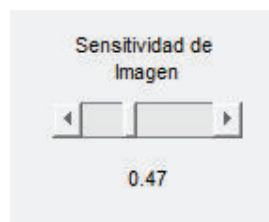


Figura 4-24. Sensitividad de Imagen.
(Fuente: Propia, 2016)

Evaluar.

Este botón nos permitirá mostrar los resultados del análisis realizado en la subsección **CORDÓN SELECCIONADO** en base a los diferentes parámetros que fueron proporcionados por el usuario. Figura 4-25.

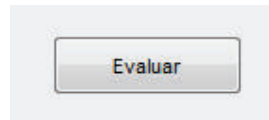


Figura 4-25. Botón Evaluar.
(Fuente: Propia, 2016)

Salir.

Ese botón permite salir del programa. Figura4-26.



Figura 4-26. Botón Salir.
(Fuente: Propia, 2016)

4.5.3.4. RESULTADOS

En esta sección se visualizan 7 subsecciones **POROS, ESCORIA, FALTA DE PENETRACIÓN, FALTA DE FUSIÓN, MORDEDURA, QUEMÓN y SUMA DE DISCONTINUIDADES**

En cada subsección se mostrará la evaluación según la norma API 1104 y las dimensiones de los defectos encontrados en milímetros. La Figura 4-27 muestra un ejemplo de una de las subsecciones.

A screenshot of a software interface showing a table for the 'QUEMÓN' (Burn) defect category. The table has two columns: 'Longitud [mm]' and 'Ancho [mm]'. The first row shows values 5.6296 and 5.3079. The text 'Quemón Rechazado' is displayed above the table.

| QUEMÓN | |
|------------------|------------|
| Quemón Rechazado | |
| Longitud [mm] | Ancho [mm] |
| 5.6296 | 5.3079 |

Figura 4-27. Subsección QUEMÓN.
(Fuente: Propia, 2016)

4.5.4. PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE FOTOGRAFÍAS DE RADIOGRAFÍAS

Para poder ejecutar el programa se lo puede hacer de dos formas: en un ordenador como un ejecutable o si dicho ordenador cuenta con MATLAB® 2016.

- Abrir el programa. Aparecerá la ventana **INTRODUCCIÓN**. Figura 4-15.
- Dar clic en el botón de **Inicio**. Se cerrará la ventana de **INTRODUCCION** y se abrirá la ventana **ALEMAN_NARVAEZ**. Figura 4-16.
- En la nueva ventana hacer clic en el botón **Cargar Imagen**, se abrirá una ventana adicional **Abrir**, Figura 4-28., en ella se deberá seleccionar la imagen a analizarse.

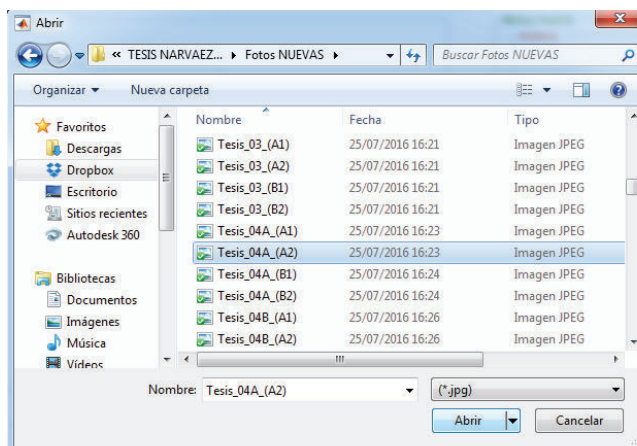


Figura 4-28. Ventana Abrir.

(Fuente: Propia, 2016)

- Una vez seleccionada la imagen, esta aparecerá en **IMAGEN RADIOGRÁFICA**.

Nota: la resolución recomendada de la imagen es 8 megapíxeles, la fotografía debe ser tomada con la radiografía sobre un negatoscopio, al realizar la fotografía se debe colocar la cámara lo más paralela a la radiografía.

- Colocar los valores de **Longitud de la Toma Fotografiada** y **Espesor de la Placa Radiografiada**, los valores deben estar en milímetros, además deben ser numéricos y mayores a cero.
 - **Longitud de la Toma Fotografiada.** Es la dimensión real longitudinal de la radiografía que se visualiza en la fotografía a analizarse.

Nota: La fotografía deberán tomarse en un rango de 60 a 100 [mm] para obtener resultados óptimos.

Advertencia: Una fotografía con una longitud muy grande no detectaría discontinuidades por lo que el programa no proporcionaría resultados.

- **Espesor de la Placa.** Es el valor de espesor de las placas que fueron soldadas.

Nota: En el caso de que las placas soldadas tengan espesores distintos, se deberá colocar la dimensión menor.

Advertencia: Sin los valores de longitud y espesor no se podrá realizar el análisis de la radiografía.

- Dar clic en el botón **Seleccionar Cordón** y dirigirse a la imagen cargada, el puntero del mouse se convertirá en una cruz y con un clic sostenido arrastrar el mouse para seleccionar el cordón de la radiografía.
- Una vez marcada la sección, dar doble clic dentro del cuadro para terminar la selección del cordón. En caso de hacer una mala selección del cordón dar clic nuevamente en el botón **Seleccionar Cordón** y repetir el proceso.

Advertencia: La selección del cordón deberá ser lo más precisa posible, Figura 4-29., el cordón debe estar centrado, se debe tomar la mayor cantidad de longitud posible evitando bordes de sombra, puesto que, en base a las dimensiones seleccionadas se evaluará la radiografía, de seleccionar mal el cordón, los resultados no serán correctos.

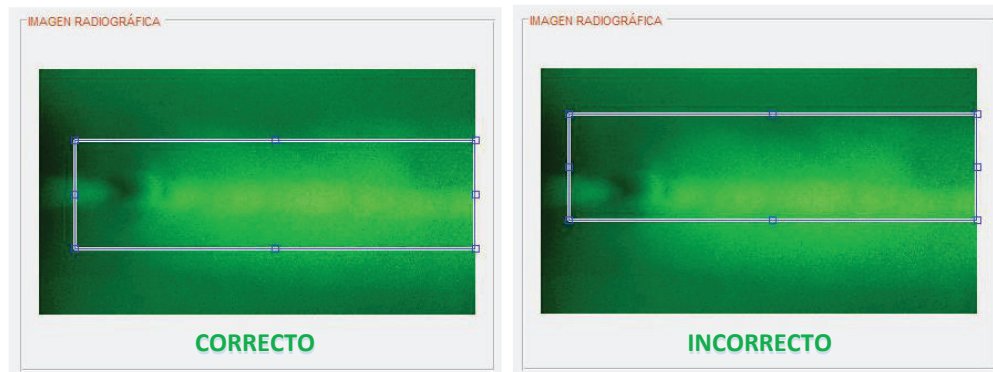


Figura 4-29. Selección de cordón Correcta e Incorrecta.

(Fuente: Propia, 2016)

- Una vez seleccionado el cordón de soldadura este se visualizará en la subsección **Cordón Seleccionado**. Figura 4-18.
- Seleccionar con el deslizador un valor de sensibilidad, los valores de sensibilidad van desde 0.4 a 0.6. Cuando el deslizador es activado la imagen en la subsección **Cordón Seleccionado** cambia a una imagen en blanco y negro. Figura 4-30.



Figura 4-30. Selección Correcta e Incorrecta de la Sensibilidad.

(Fuente: Propia, 2016)

Nota: Escoger un valor en el que se puedan visualizar las discontinuidades, comparándolas con la imagen real, sin que se muestren formas que no estén en la radiografía.

Los valores de sensibilidad idóneos para la detección de poros van desde 0.47 hasta 0.53.

Advertencia: En caso de seleccionar un valor de sensibilidad y no obtener los resultados deseados realizar una nueva fotografía de la radiografía y repetir el proceso.

- Cuando el usuario crea que el valor seleccionado en el deslizador es el correcto presionar el botón **Evaluar**.
- Se mostrarán los resultados de la evaluación en la sección de **RESULTADOS**, Figura 4-31., con la respectiva evaluación según la norma API 1104 y con las dimensiones de las discontinuidades.
- En la subsección de **Cordón Seleccionado** cada forma identificada mostrará un valor, dicho valor va desde 0 a 1, si este valor es mayor a 0.68 la discontinuidad será circular y esta es la primera clasificación de discontinuidades.
- Los resultados se visualizarán en cada subsección de resultados indicando la aceptación o rechazo de la discontinuidad en caso de haberlo, o indicará que la misma no se encontró.

| RESULTADOS | |
|---|--|
| POROS No Existe Poros Diámetro [mm] | ESCORIA No Existe Escoria Longitud [mm] Ancho [mm] |
| FALTA DE PENETRACIÓN No Existe Falta de Penetración Longitud [mm] | FALTA DE FUSIÓN No Existe Falta De Fusión Longitud [mm] |
| MORDEDURA No Existe Mordedura Longitud [mm] | QUEMÓN Quemón Rechazado Longitud [mm] Ancho [mm] 5.3539 4.2279 |
| SUMA DE DISCONTINUIDADES [mm] Suma de Discontinuidades Aceptada 5.3539 | |

Figura 4-31. Sección RESULTADOS.

(Fuente: Propia, 2016)

Si al menos uno de los resultados muestra rechazo, la radiografía quedará rechazada.

4.5.5. MANEJO DE ERRORES

El programa ALEMAN_NARVAEZ trata algunos errores que el usuario puede cometer al efectuar el análisis de una imagen radiográfica

Ingreso erróneo en los campos editables

Cuando el usuario ingresa letras, el número cero o deja el espacio en blanco, se mostrará una advertencia indicando el error cometido y sugiriendo que ingrese un valor adecuado. La Figura 4-32. Muestra la advertencia que se muestra cuando uno de los campos editables no está con la información equivocada.

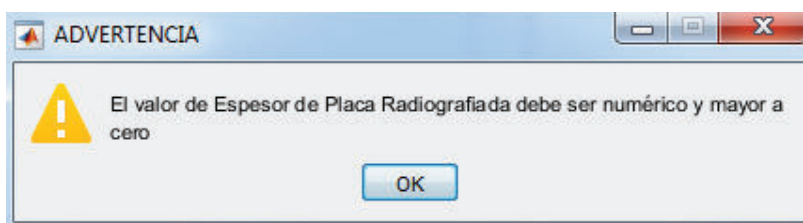


Figura 4-32. ADVERTENCIA Ingreso erróneo en los campos editables.
(Fuente: Propia, 2016)

En este caso al presionar OK o al cerrar la ventana ADVERTENCIA, el campo editable se escribe un valor predeterminado por el programa. Para el caso de Longitud de la Toma Fotografiada el valor será 100 [mm] y para el caso de Espesor de la Placa Radiografiada el valor será de 5 [mm].

Nota: El programa no tiene distinción entre punto y coma por lo que el usuario podrá colocar valores como 5.5 o 5,5 sin que interfiera en el procesamiento de la imagen.

No selección de sensibilidad

Una vez seleccionado el cordón se debe establecer un valor en el deslizable de sensibilidad, de no hacerlo y proceder a evaluar la imagen se presentará la siguiente advertencia, Figura 4-33., recordando al usuario establecer un valor en dicha sección.

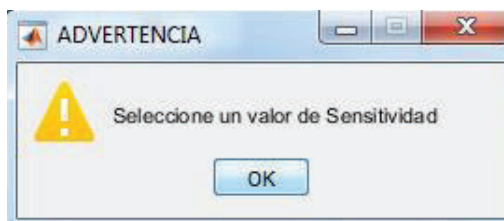


Figura 4-33. ADVERTENCIA No selección de sensibilidad.
(Fuente: Propia, 2016)

Otros errores

De presentarse otro tipo de errores no previstos, por favor consulte a soporte técnico. O presione salir y vuelva a correr el programa

4.5.6. SOPORTE TÉCNICO

Consulte para mayor información a:

- Alemán Jonatan
jonatan_aleman@hotmail.com
+593983823835
- Narváez Cristina
crisn_13@outlook.com
+593987352040

4.5.7. GLOSARIO

4.5.7.1. Discontinuidad

Falta de cohesión (de unión); interrupción en la estructura física normal del material o producto, falta de continuidad.

4.5.7.2. Botón

Tipo de widget que permiten al usuario realizar una acción, se activa al hacer clic sobre él.

4.5.7.3. Editables

Campo en el que el usuario deberá proporcionar información.

4.5.7.4. Deslizador

Barra deslizable que permite de una forma didáctica seleccionar un valor en ese campo para una acción específica.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se realizaron comparaciones de resultados inspeccionando radiografías con procedimientos habituales de laboratorio y con el software desarrollado, determinando las discontinuidades y su respectiva aceptación o rechazo según criterios de la norma API 1104.

A continuación, se realiza pruebas con radiografías obtenidas de la base de datos del laboratorio de ensayos no destructivos.

5.2. PRUEBAS

Para las pruebas se evaluarán en el software # radiografías y se compara las dimensiones de los defectos con los obtenidos observando las radiografías en un negatoscopio.

5.2.1. RADIOGRAFÍA N.- 1

Tabla 5-1. Datos Obtenidos Radiografía N.- 1.

| Datos Obtenidos Manualmente | |
|------------------------------------|-----------|
| Discontinuidad | Porosidad |
| Dimensión: Diámetro [mm] | 0.8 |
| Evaluación | Aceptada |
| Datos Obtenidos Software | |
| Discontinuidad | Porosidad |
| Dimensión: Diámetro [mm] | 0.81415 |
| Evaluación | Aceptada |

(Fuente: Propia, 2016)

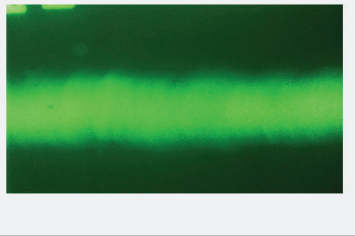

| DATOS | | RESULTADOS | |
|--|--|---|--|
| MAGEN RADIOGRÁFICA  | | Porosidad Aceptada Diámetro [mm] 0.81415 | |
| CORDÓN SELECCIONADO  | | ESCORIA No Existe Escoria Longitud [mm] Ancho [mm] | |
| Cargar Imagen Longitud de la Toma Fotografada [mm] 75 Espesor de la Placa Radiografiada [mm] 5 Seleccionar Cordón Sensibilidad de Imagen 0.4643 Evaluar SALIR | | FALTA DE PENETRACIÓN No Existe Falta de Penetración Longitud [mm] | |
| | | FALTA DE FUSIÓN No Existe Falta De Fusión Longitud [mm] | |
| | | MORDEDURA No Existe Mordedura Longitud [mm] | |
| | | QUEMÓN No Existe Quemón Longitud [mm] Ancho [mm] | |
| | | SUMA DE DISCONTINUIDADES [mm] Suma de Discontinuidades Aceptada 0.81415 | |

Figura 5-1. Datos Obtenidos Software Radiografía N.- 1.
(Fuente: Propia, 2016)

$$\%Error = \left| \frac{Valor Teórico - Valor Experimental}{Valor Teórico} \right| * 100 \quad (Ec. 5-1)$$

$$\%Error = \left| \frac{0.8 - 0.81415}{0.8} \right| * 100 = 1.77 \%$$

5.2.2. RADIOGRAFÍA N.- 2

Tabla 5-2. Datos Obtenidos Radiografía N.- 2.

| Datos Obtenidos Manualmente | |
|-----------------------------|------------------|
| Discontinuidad | Quemón |
| Dimensión: Longitud [mm] | 5.3 |
| Dimensión: Ancho [mm] | 5.0 |
| Evaluación | Quemón Rechazado |
| Datos Obtenidos Software | |
| Discontinuidad | Quemón |
| Dimensión: Longitud [mm] | 5.4917 |
| Dimensión: Ancho [mm] | 5.3079 |
| Evaluación | Quemón Rechazado |

(Fuente: Propia, 2016)

The screenshot shows a software interface for radiographic analysis. It is divided into several sections:

- DATOS:**
 - IMAGEN RADIOGRÁFICA:** A green radiographic image of a weld.
 - CORDÓN SELECCIONADO:** A small image showing the selected weld bead.
 - Inputs:**
 - Cargar imagen (button)
 - Longitud de la Toma Fotografada [mm]: 75
 - Espesor de la Placa Radiografiada [mm]: 5
 - Seleccionar Cordon (button)
 - Sensibilidad de Imagen: 0.47
 - Evaluar (button)
 - SALIR (button)
- RESULTADOS:**
 - POROS:** No Existe Poros. Diámetro [mm].
 - ESCORIA:** No Existe Escoria. Longitud [mm] Ancho [mm].
 - FALTA DE PENETRACIÓN:** No Existe Falta de Penetración. Longitud [mm].
 - FALTA DE FUSIÓN:** No Existe Falta De Fusión. Longitud [mm].
 - MORDEDURA:** No Existe Mordedura. Longitud [mm].
 - QUEMÓN:** Quemón Rechazado. Longitud [mm] Ancho [mm]. 5.4917 5.3079.
 - SUMA DE DISCONTINUIDADES [mm]:** Suma de Discontinuidades Aceptada: 5.4917.

Figura 5-2. Datos Obtenidos Software Radiografía N.- 2.

(Fuente: Propia, 2016)

$$\%Error Longitud = \left| \frac{5.3 - 5.4917}{5.3} \right| * 100 = 3.62 \%$$

$$\%Error Ancho = \left| \frac{5.0 - 5.3079}{5.0} \right| * 100 = 6.16 \%$$

5.2.3. RADIOGRAFÍA N.- 3

Tabla 5-3. Datos Obtenidos Radiografía N.- 3_A.

| Datos Obtenidos Manualmente | |
|-----------------------------|---------------------------|
| Discontinuidad | Falta de Fusión |
| Dimensión: Longitud [mm] | 10.07 |
| Evaluación | Falta de Fusión Rechazada |
| Datos Obtenidos Software | |
| Discontinuidad | Falta de Fusión |
| Dimensión: Longitud [mm] | 9.64 |
| Evaluación | Falta de Fusión Rechazada |

(Fuente: Propia, 2016)

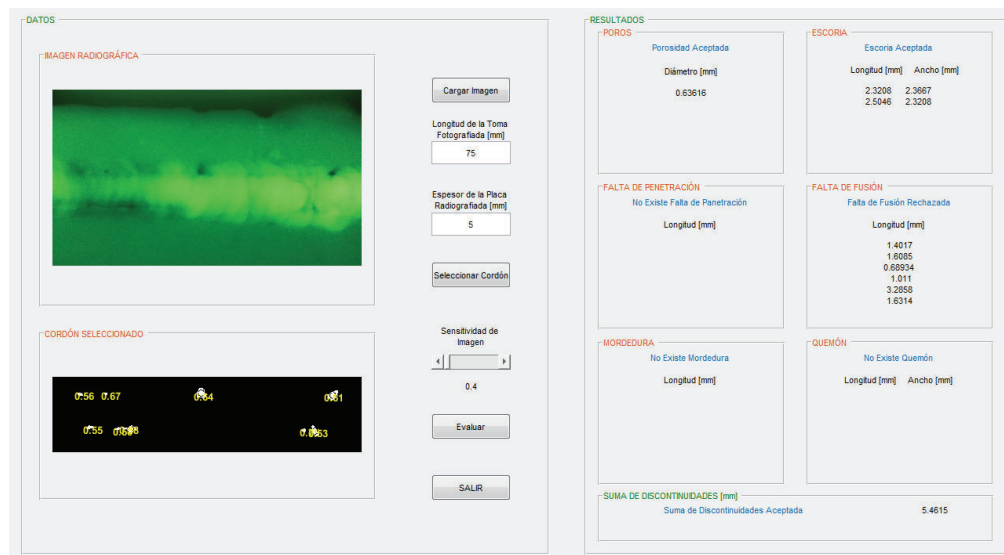


Figura 5-3. Datos Obtenidos Software Radiografía N.- 3_A.

(Fuente: Propia, 2016)

$$\%Error Longitud = \left| \frac{10.07 - 9.64}{10.07} \right| * 100 = 4.27 \%$$

Tabla 5-4. Datos Obtenidos Radiografía N.- 3_B.

| Datos Obtenidos Manualmente | |
|------------------------------------|--------------------|
| Discontinuidad | Escoria 1 |
| Dimensión: Longitud [mm] | 2.12 |
| Dimensión: Ancho [mm] | 2.18 |
| Evaluación | Escoria 1 Aceptada |
| Datos Obtenidos Software | |
| Discontinuidad | Escoria 1 |
| Dimensión: Longitud [mm] | 2.3208 |
| Dimensión: Ancho [mm] | 2.3667 |
| Evaluación | Escoria 1 Aceptada |

(Fuente: Propia, 2016)

$$\%Error Longitud = \left| \frac{2.12 - 2.32}{2.12} \right| * 100 = 9.43 \%$$

$$\%Error Ancho = \left| \frac{2.18 - 2.37}{2.18} \right| * 100 = 8.72 \%$$

Tabla 5-5. Datos Obtenidos Radiografía N.- 3_C.

| Datos Obtenidos Manualmente | |
|------------------------------------|--------------------|
| Discontinuidad | Escoria 2 |
| Dimensión: Longitud [mm] | 2.20 |
| Dimensión: Ancho [mm] | 2.02 |
| Evaluación | Escoria 2 Aceptada |
| Datos Obtenidos Software | |
| Discontinuidad | Escoria 2 |
| Dimensión: Longitud [mm] | 2.5046 |
| Dimensión: Ancho [mm] | 2.3208 |
| Evaluación | Escoria 2 Aceptada |

(Fuente: Propia, 2016)

$$\%Error Longitud = \left| \frac{2.20 - 2.50}{2.20} \right| * 100 = 13.64 \%$$

$$\%Error Ancho = \left| \frac{2.02 - 2.32}{2.02} \right| * 100 = 14.85 \%$$

$$Promedio de \% de Error = 7.81 \%$$

Con los resultados obtenidos se determina que existe mayor porcentaje de error en escorias, se observan porcentajes de hasta 14.85 %, mientras los valores de discontinuidades con contornos más definidos muestran resultados con errores muy pequeños.

De acuerdo a las pruebas realizadas el promedio de porcentaje de error es de alrededor del 8%, es decir, el programa presenta una confiabilidad del 92% para un análisis didáctico de discontinuidades en radiografías de soldadura. Se debe tomar en cuenta el tipo de discontinuidad a analizar, la habilidad del usuario para seleccionar el cordón, además de conocimientos de inspección por radiografía.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se desarrolló e implementó un sistema de visión artificial aplicado al método de ensayos no destructivos por radiografía, para la detección y evaluación de discontinuidades comunes de soldadura, con fines de uso didáctico en las prácticas de laboratorio de END.

El sistema de visión artificial evalúa discontinuidades en inspección por radiografía según los criterios de aceptación y rechazo de la norma API 1104, por lo que el software puede utilizarse en fotografías tomadas a películas radiográficas de tuberías y elementos relacionados.

El software permite distinguir discontinuidades como: poros, escoria, quemón, falta de fusión, falta de penetración, mordedura, a través de un procesamiento de imagen que reconoce formas de acuerdo a relaciones entre el área y perímetro de las figuras detectadas.

En el proceso de reconocimiento de formas existen filtros, funciones de MATLAB®, que eliminan ciertas características de la imagen radiográfica, por lo que el programa no puede registrar fisuras o grietas, ya que estas son muy delgadas e imperceptibles para nuestro método.

La detección de discontinuidades depende de los parámetros que el usuario ingresa en el software, espesor de placa y longitud de la imagen radiográfica, además de la zona de seleccionada como cordón, para un correcto análisis de defectos.

De acuerdo a la manipulación del programa los resultados obtenidos sobre las discontinuidades no siempre serán válidos, ya que depende mucho de la interpretación del usuario como del manejo correcto del software.

El presente proyecto aporta una herramienta útil para una inspección radiográfica rápida en la industria, tomando en cuenta que los criterios de evaluación usados son los presentes en la norma API 1104.

El software muestra una evaluación individual de las discontinuidades, lo que permite al usuario identificar los defectos y sus dimensiones, si una de estas discontinuidades o la suma de ellas muestra rechazo, la imagen radiográfica queda rechazada.

El programa permite realizar al usuario una comparación visual de la radiografía con el análisis de la imagen una vez seleccionado el cordón de soldadura, por lo que es más fácil seleccionar un valor de sensibilidad adecuado.

El sistema de visión artificial presenta una interfaz amigable al usuario, además de tener incorporado el manual de usuario permitiendo un uso adecuado del software.

El software es adaptable, por su estructura, a programas como Octave o Python para su ejecución y aplicación. Además, puede optimizarse el código de programación para una plataforma en un software libre.

RECOMENDACIONES

Para el buen uso del sistema se recomienda leer claramente el manual de usuario disponible en este documento y en el software de análisis.

Para la utilización del sistema de visión artificial, el usuario debe tener conocimiento de defectos encontrados en radiografías, ya que con ello podrá realizar una buena interpretación de resultados.

Para la obtención de imágenes radiográficas es necesario tomar las fotografías de tal manera que la zona con el defecto sea enfocada, la película debe estar sobre un negatoscopio y la cámara lo más paralela posible a la película.

Se recomienda un rango de longitud de fotografía entre 60 [mm] y 100 [mm], para el correcto enfoque de defecto en la imagen, usando una cámara de 8 megapíxeles, que permite fácil acceso de tomas al usuario.

Se debe seleccionar un valor adecuado en el deslizador de sensibilidad de imagen, para una definición correcta del defecto, si se analiza defectos específicos tomar en cuenta la imagen original para su evaluación.

Tomar en cuenta que los resultados de las discontinuidades obtenidas de la imagen, presentaran valores erróneos de acuerdo a la claridad y definición de la toma radiográfica, así como, el procesamiento a la que está expuesta.

BIBLIOGRAFÍA

- Bermúdez, S. (2011). Definición formal de una máquina Turing. Lenguajes Libres de Contexto. Obtenido de <http://teodelacomp.blogspot.com/2011/03/41-definicion-formal-de-una-maquina.html>
- Escolano, F. Cazorla, M. Alfonso, M. Colomina, O. & Lozano, M. (2003). Inteligencia Artificial. Pág. 4
- Arenas, J. (2009). Tipos de robot actuales. JAV-TEC9032. Obtenido de <https://sites.google.com/site/javtec9032/tipos-de-robot-actuales>
- Prensa Latina. (2012). Robot Curiosity prueba instrumentos en Marte. Ciencia y Tecnología. Correo del Orinoco. Obtenido de <http://www.correodelorinoco.gob.ve/ciencia-tecnologia/robot-curiosity-prueba-instrumentos-marte/>
- EcuRed. (2015). Redes neuronales. Obtenido de http://www.ecured.cu/index.php/Redes_neuronales
- AFCEA INTERNATIONAL PRESS. (1988). Pág. 60
- NEURAL NETWORKS. (1994). A comprehensive foundation. NY. MCMILLAN. Pág. 2
- Mateu, D. (2008). Aplicación de redes neuronales a la identificación de patrones. Ciencia y tecnología. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=8whBwclo3il>
- METROINSTRUMENTS S.A. (2016). Sistemas de Visión Artificial. Obtenido de <http://www.metroinstruments.com/ver.php?mod=catalogo&categoria=41>
- Infaimon S.L. (2016). Inspección de llantas para ruedas de vehículos. Sector automóvil. Aplicaciones. Obtenido de <http://www.infaimon.com/es/menu/aplicaciones/?Sector=automovil>

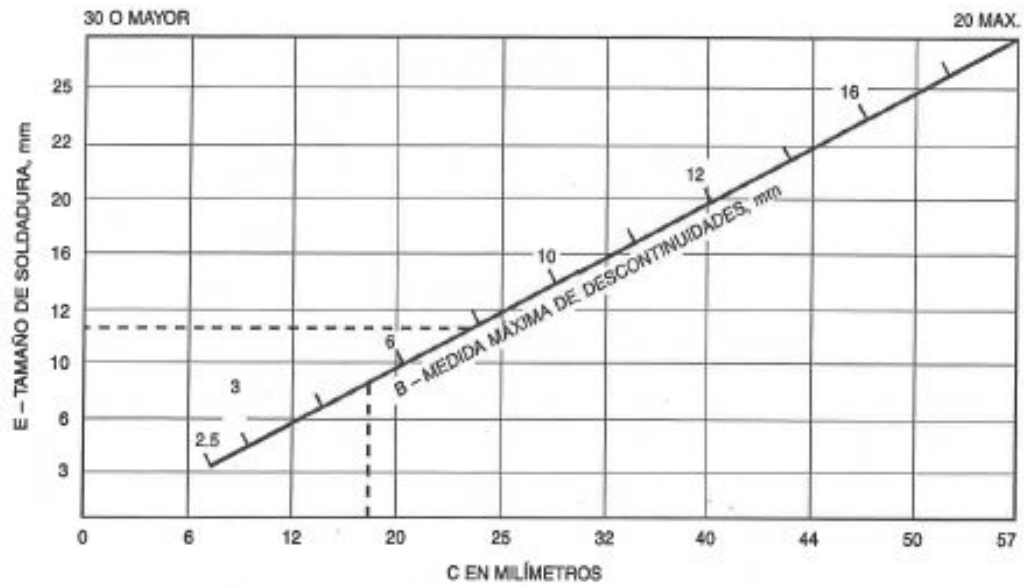
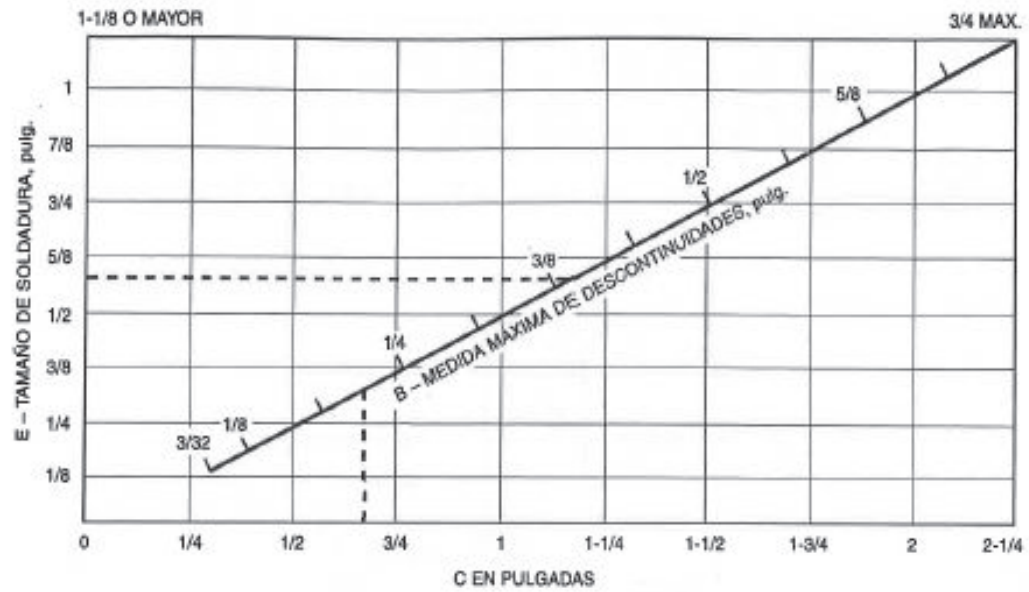
- Jaespimon. (2014). Los misteriosos rayos X y la primera radiografía. COSAS DE CIENCIA... Física y Química. COSAS DE CIENCIA... Física y Química. Wordpress. Obtenido de <https://jaespimon.files.wordpress.com/2014/10/1895-a-su-esposa.jpeg>
- Cárdenas PND. Radiografía. Inspectores en soldadura. Obtenido de <http://www.cardenaspnd.com/servicios.radiografia.html>
- MUNDOPLAST. (2012). Nuevos robots Delta de Omron. Obtenido de <http://www.mundoplast.com/noticia/nuevos-robots-delta-omron/68084>.
- Etitudela. Visión artificial. Célula. Obtenido de <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>
- López, O. (2015). Clasificación de los originales. UF1. Obtenido de <http://olopezc-crn.blogspot.com/p/uf1.html>
- Gudiel, J. (2015). Programa de mantenimiento preventivo a máquina rotativa offset marca Solna modelo d-200, en los talleres de la tipografía nacional. Universidad de San Carlos de Guatemala. Pág. 5. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2125/1/Juan%20Carlos%20Gudiel%20L%C3%B3pez.pdf> y en <https://ghbtalento.files.wordpress.com/2012/10/escala20de20grises.jpg>
- FSE. (2012). Visión Artificial. Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales. Unión Europea. Pág. 7. Obtenido de http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf
- American Petroleum Institute (API). (2010). API Standard 1104 Welding of Pipelines and Related Facilities. Pág. 21 – 27.
- ASME BPVC IX. (2010). Boiler & Pressure Vessel Code, Section IX, Welding and Brazing Qualifications. Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators.

- Llulluna, F. (2014). Procesamiento de imágenes mediante software libre Python para el análisis metalográfico en aceros de bajo contenido de carbono. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7171>
- Fernández, M. & Ortiz, L. (2010). Sistema de información para el reconocimiento en radiografías de defectos de soldadura en aceros. Escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de materiales Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander.
- Swanson, D. & Smalheiser, N. (1997). An interactive system for finding complementary literatures: a stimulus to scientific discovery. Artificial Intelligence. Pág. 183-203. Obtenido de <http://kiwi.uchicago.edu/web>
- Sotolongo, G. & Guzmán, M. (2001). Aplicaciones de las redes neuronales. El caso de la Bibliometría. La Habana, Cuba. Obtenido de <http://www.dynamics.unam.edu/DinamicaNoLineal/Articulos/MineriaDatos/Articulo03.pdf>
- Hellier C.J. (2003). Handbook of Nondestructive Evaluation. Unites States: Mc Graw-Hill
- Division Radiologie Intustrielle,(1991).Baltographe 200/10.Belgique:Balteau

ANEXOS

ANEXO 1.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO SEGÚN LA NORMA AWS D1.1.



Notas:

1. Para determinar el tamaño máximo de la discontinuidad permitida en cualquier junta o tamaño de soldadura, proyectar E horizontalmente hasta B.
2. Para determinar la distancia permitida entre bordes de discontinuidades de cualquier tamaño mayor o igual que 3.32 pulg. [2.5 mm], proyectar B verticalmente con C.
3. Ver la leyenda en la página 258 para definiciones.

Figura 6.1—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares con Carga Estática y Tubulares con Carga Estática o Cíclica (ver 6.12.1)

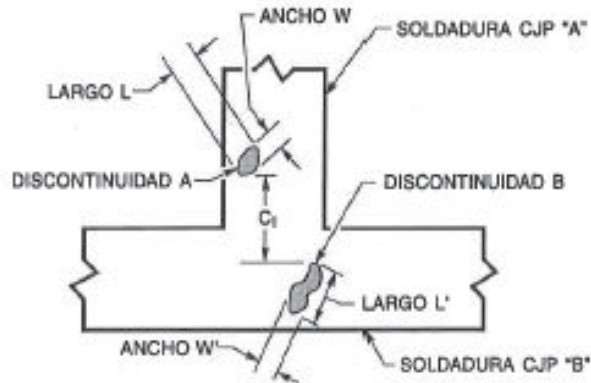
LEYENDA PARA FIGURA 6.1, CASOS I, II, III Y IV

DISCONTINUIDAD A = DISCONTINUIDAD REDONDEADA O ALARGADA LOCALIZADA EN LA SOLDADURA A
 DISCONTINUIDAD B = DISCONTINUIDAD REDONDEADA O ALARGADA LOCALIZADA EN LA SOLDADURA B

L Y W = DIMENSIONES MAYORES Y MENORES, RESPECTIVAMENTE DE LA DISCONTINUIDAD A
 L' Y W' = DIMENSIONES MAYORES MENORES, RESPECTIVAMENTE DE LA DISCONTINUIDAD B

E = TAMAÑO DE SOLDADURA

C₁ = MENOR DISTANCIA PARALELA AL EJE DE LA SOLDADURA A, ENTRE LOS EJES DE DISCONTINUIDAD MAS CERCANOS



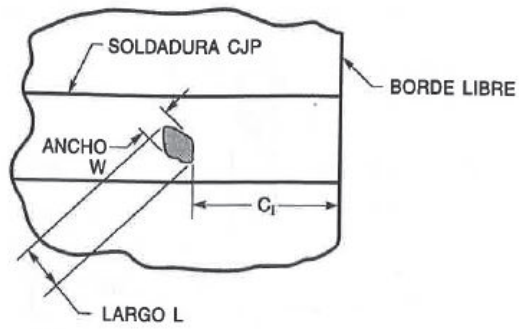
CASO I: LIMITACIONES DE DISCONTINUIDADES*

| DIMENSION DE DISCONTINUIDAD | LIMITACIONES | CONDICIONES |
|-----------------------------|-------------------------------|---|
| L | $<E/3, \leq 1/4$ pulg. [6 mm] | $E \leq 2$ pulg. [50 mm] |
| | $\leq 3/8$ pulg. [10 mm] | $E > 2$ pulg. [50 mm] |
| C ₁ | $\geq 3L$ | (A) UNA DISCONTINUIDAD REDONDEADA, LA OTRA PUEDE SER REDONDEADA O ALARGADA* (B) $L \geq 3/32$ pulg. [2.5 mm] |

* La discontinuidad alargada puede ser localizada en la soldadura "A" o "B". Para fines de esta ilustración, la discontinuidad alargada "B" fue localizada en la soldadura "B".

Caso I—Discontinuidad en la Intersección de Soldadura

Figura 6.1 (Continuación)—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares con Carga Estática y Tubulares con Carga Estática o Cíclica (ver 6.12.1)

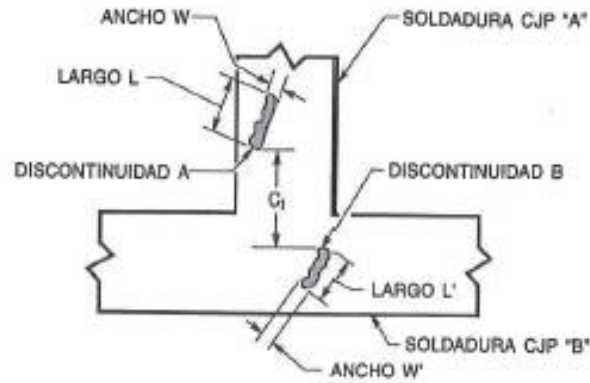


CASO II LIMITACIONES DE DISCONTINUIDADES

| DIMENSION DE DISCONTINUIDAD | LIMITACIONES | CONDICIONES |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| L | $<E/3, \leq 1/4$ pulg. [6 mm] | $E \leq 2$ pulg. [50 mm] |
| | $\leq 3/8$ pulg. [10 mm] | $E > 2$ pulg. [50 mm] |
| C_1 | $\geq 3L$ | $L \geq 3/32$ pulg. [2.5 mm] |

Caso II—Discontinuidad en el Borde Libre de la Soldadura de Canal CJP

Figura 6.1 (Continuación)—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares con Carga Estática y Tubulares con Carga Estática o Cíclica (ver 6.12.1)

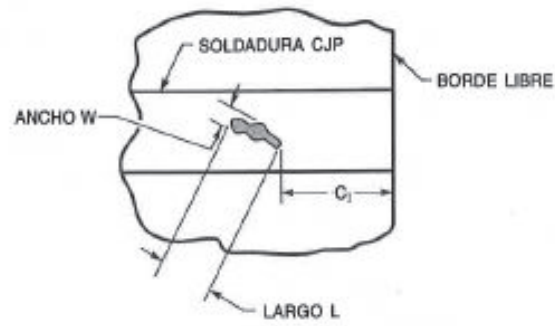


CASO III LIMITACIONES DE DISCONTINUIDADES

| DIMENSION DE DISCONTINUIDAD | LIMITACIONES | CONDICIONES |
|-----------------------------|---|------------------------------|
| L | $\leq 2E/3$ | $L/W > 3W$ |
| G_1 | $\geq 3L$ O $2E$, EL QUE SEA MAYOR | $L \geq 3/32$ pulg. [2.5 mm] |

Case III—Discontinuidad en la Intersección de Soldadura

Figura 6.1 (Continuación)—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares con Carga Estática y Tubulares con Carga Estática o Cíclica (ver 6.12.1)

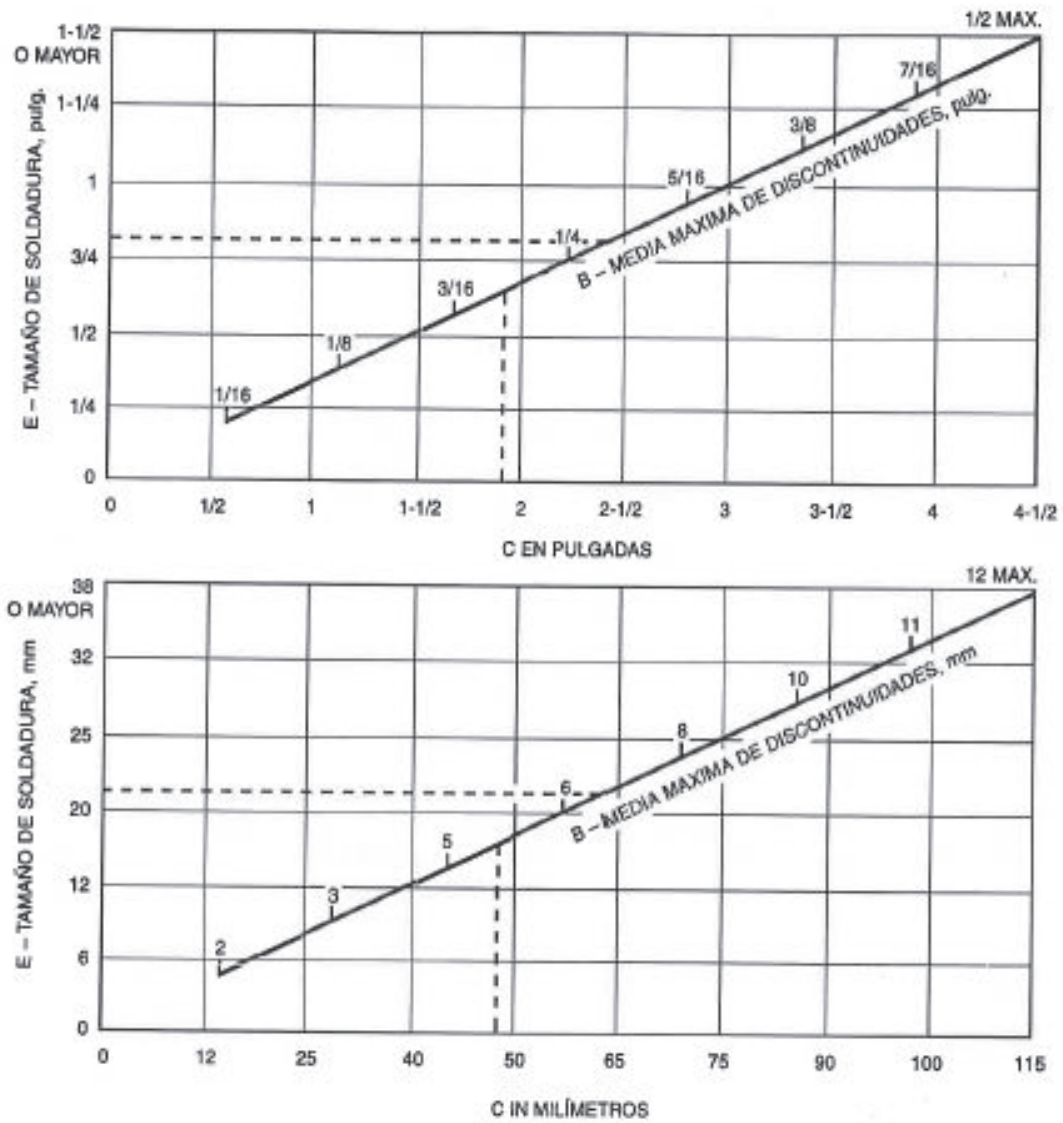


CASO IV LIMITACIONES DE DISCONTINUIDADES

| DIMENSION DE DISCONTINUIDAD | LIMITACIONES | CONDICIONES |
|-----------------------------|---|------------------------------|
| L | $\leq 2E/3$ | $L/W > 3$ |
| C_1 | $\geq 3L$ O $2E$, EL QUE SEA MAYOR | $L \geq 3/32$ pulg. [2.5 mm] |

Caso IV—Discontinuidad en el Borde Libre de la Soldadura de Canal CJP

Figura 6.1 (Continuación)—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares con Carga Estática y Tubulares con Carga Estática o Cíclica (ver 6.12.1)



Notas:

1. Para determinar el tamaño máximo de la discontinuidad permitida en cualquier junta o tamaño de soldadura, proyectar E horizontalmente hasta B.
2. Para determinar la distancia permitida entre bordes de discontinuidades de cualquier tamaño mayor o igual que 3.32 pulg. [2.5 mm] proyectar B verticalmente con C.
3. Ver la leyenda en la página 258 para definiciones.

Figura 6.2—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares con Carga Cíclica en Tracción (Limitaciones de Porosidad y Discontinuidades de Fusión) (ver 6.12.2.1)

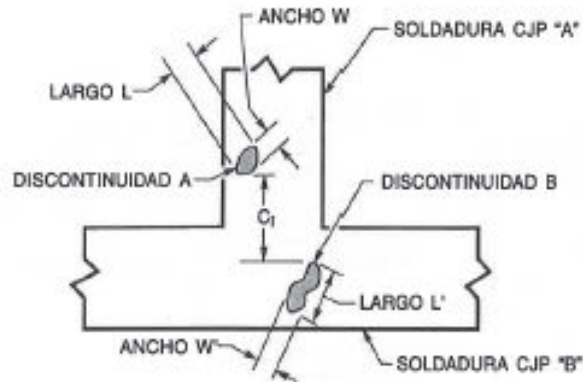
LEYENDA PARA FIGURA 6.2, CASOS I, II, III, Y IV

DISCONTINUIDAD A = DISCONTINUIDAD REDONDEADA O ALARGADA LOCALIZADA EN LA SOLDADURA A
 DISCONTINUIDAD B = DISCONTINUIDAD REDONDEADA O ALARGADA LOCALIZADA EN LA SOLDADURA B

L Y W = DIMENSIONES MAYORES Y MENORES, RESPECTIVAMENTE DE LA DISCONTINUIDAD A
 L' Y W' = DIMENSIONES MAYORES Y MENORES, RESPECTIVAMENTE DE LA DISCONTINUIDAD B

E = TAMAÑO DE SOLDADURA

C₁ = MENOR DISTANCIA PARALELA AL EJE DE LA SOLDADURA A, ENTRE LOS EJEJES DE DISCONTINUIDAD MAS CERCANOS



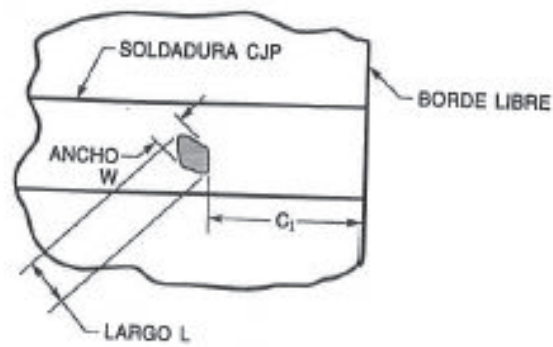
CASO I LIMITACIONES DE DISCONTINUIDADES*

| DIMENSION DE DISCONTINUIDAD | LIMITACIONES | CONDICIONES |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| L | VER FIGURA 6.2 GRÁFICO (DIMENSIÓN B) | $L \geq 1/16$ pulg. [2 mm] |
| C ₁ | VER FIGURA 6.2 GRÁFICO (DIMENSIÓN C) | — |

* La discontinuidad alargada puede ser localizada en la soldadura "A" o "B". Para fines de esta ilustración, la discontinuidad alargada "B" fue localizada en la soldadura "B".

Caso I—Discontinuidad en la Intersección de Soldadura

Figura 6.2 (Continuación)—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares con Carga Cíclica en Tracción (Limitaciones de Porosidad y Discontinuidades de Fusión) (ver 6.12.2.1)

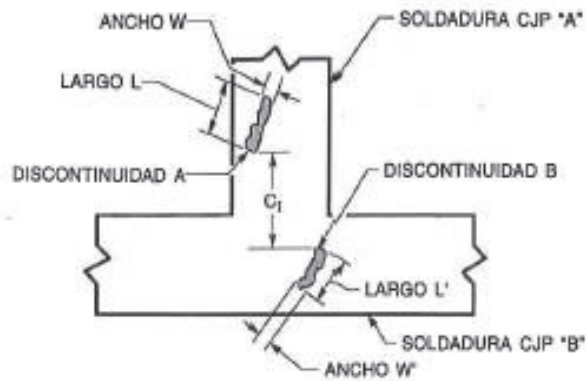


CASE II LIMITACIONES DE DISCONTINUIDADES

| DIMENSION DE DISCONTINUIDAD | LIMITACIONES | CONDICIONES |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| L | VER FIGURA 6.2 GRÁFICO (DIMENSIÓN B) | $L \geq 1/16$ pulg. [2 mm] |
| C_1 | VER FIGURA 6.2 GRÁFICO (DIMENSIÓN C) | — |

Caso II—Discontinuidad en el Borde Libre de la Soldadura de Canal CJP

Figura 6.2 (Continuación)—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares con Carga Cíclica en Tracción (Limitaciones de Porosidad y Discontinuidades de Fusión) (ver 6.12.2.1)

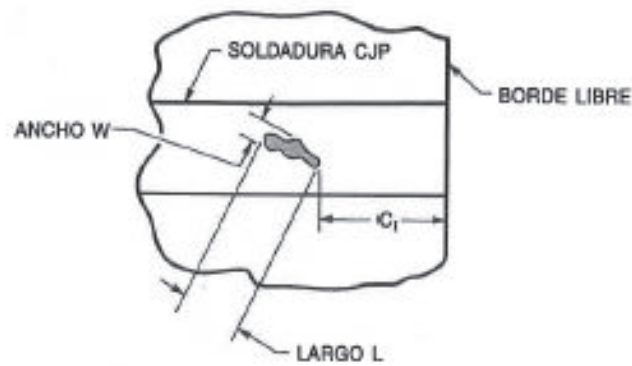


CASE III LIMITACIONES DE DISCONTINUIDADES

| DIMENSION DE DISCONTINUIDAD | LIMITACIONES | CONDICIONES |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| L | VER FIGURA 6.2 GRÁFICO (DIMENSIÓN B) | $L \geq 1/16$ pulg. [2 mm] |
| C_1 | VER FIGURA 6.2 GRÁFICO (DIMENSIÓN C) | — |

Caso III—Discontinuidad en la Intersección de Soldadura

Figura 6.2 (Continuación)—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares con Carga Cíclica en Tracción (Limitaciones de Porosidad y Discontinuidades de Fusión) (ver 6.12.2.1)

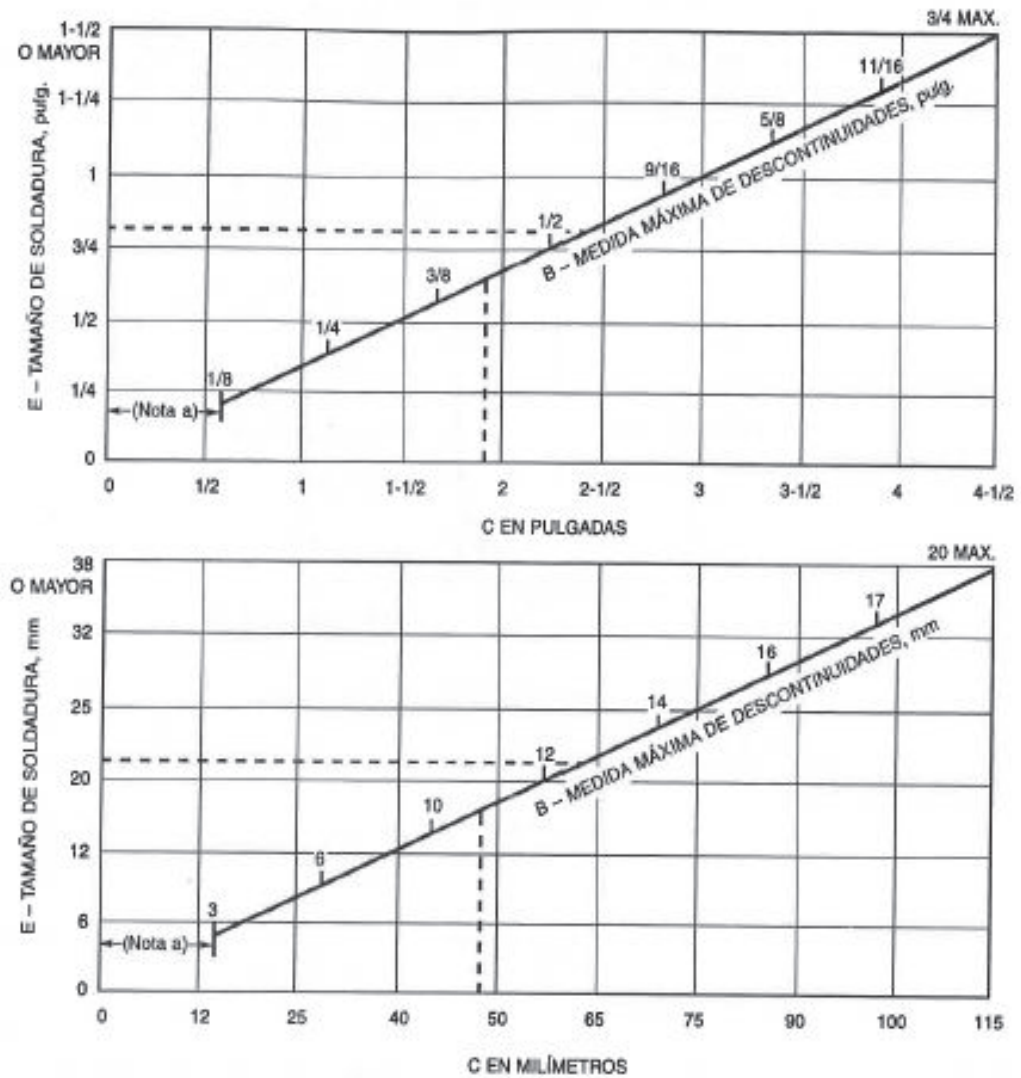


CASE IV LIMITACIONES DE DISCONTINUIDADES

| DIMENSION DE DISCONTINUIDAD | LIMITACIONES | CONDICIONES |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| L | VER FIGURA 6.2 GRÁFICO (DIMENSIÓN B) | $L \geq 1/16$ pulg. [2 mm] |
| C_1 | VER FIGURA 6.2 GRÁFICO (DIMENSIÓN C) | — |

Caso IV—Discontinuidad en el Borde Libre de la Soldadura de Canal CJP

Figura 6.2 (Continuación)—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares con Carga Cíclica en Tracción (Limitaciones de Porosidad y Discontinuidades de Fusión) (ver 6.12.2.1)



*El tamaño máximo de una discontinuidad localizada entre la distancia desde el borde de las placas debe ser 1/8 pulg. [3 mm], pero una discontinuidad de 1/8 pulg. [3 mm] debe estar 1/4 pulg. [6 mm] o más lejos del borde. La suma de las discontinuidades menor de 1/8 pulg. [3 mm] en tamaño y localizadas entre esta distancia del borde no deben pasar 3/16 pulg. [5 mm]. La discontinuidades 1/16 pulg. [2 mm] a menos de 1/8 pulg. [3 mm] no deben estar restringidas en otras localizaciones a menos que estén separadas por menos de 2 L (L siendo la longitud de la mayor discontinuidad); en tal caso, la discontinuidad debe ser medida como una longitud igual a la longitud total de las discontinuidades y espacios y que estén evaluadas como se muestra en esta figura.

Notas:

1. Para determinar el tamaño máximo de la discontinuidad permitida en cualquier junta o tamaño de soldadura, proyectar E horizontalmente hasta B.
2. Para determinar la distancia permitida entre bordes de discontinuidades de cualquier tamaño mayor o igual que 3/32 pulg. [2.5 mm], proyectar B verticalmente con C.
3. Ver la leyenda en la página 258 para definiciones.

Figura 6.3—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares con Carga Cíclica en Compresión (Limitaciones de Porosidad y Discontinuidades de Fusión) (ver 6.12.2.2)

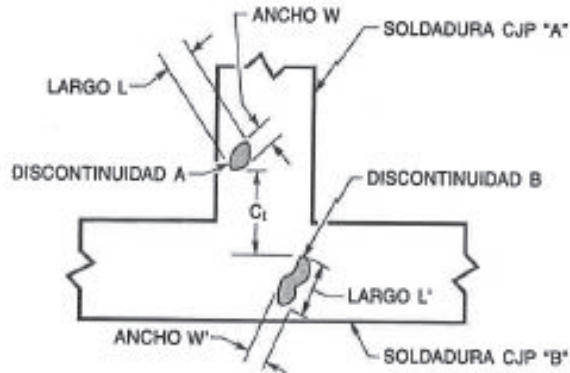
LEYENDA PARA FIGURA 6.3, CASES I, II, III, IV, Y V

DISCONTINUIDAD A = DISCONTINUIDAD REDONDEADA O ALARGADA LOCALIZADA EN LA SOLDADURA A
 DISCONTINUIDAD B = DISCONTINUIDAD REDONDEADA O ALARGADA LOCALIZADA EN LA SOLDADURA B

L AND W = DIMENSIONES MAYORES Y MENORES, RESPECTIVAMENTE DE LA DISCONTINUIDAD A
 L' AND W' = DIMENSIONES MAYORES Y MENORES, RESPECTIVAMENTE DE LA DISCONTINUIDAD B

E = TAMAÑO DE SOLDADURA

C_1 = MENOR DISTANCIA PARALELA AL EJE DE LA SOLDADURA A, ENTRE LOS EJES DE DISCONTINUIDAD MAS CERCANOS



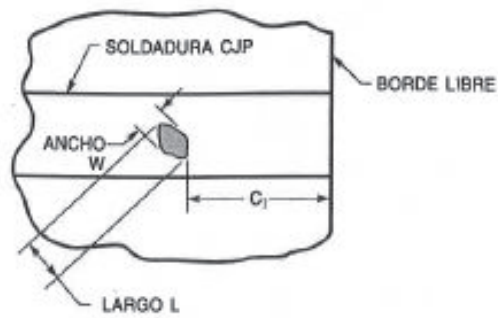
CASO I LIMITACIONES DE DISCONTINUIDADES*

| DIMENSION DE DISCONTINUIDAD | LIMITACIONES | CONDICIONES |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|
| L | VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN B) | $L \geq 1/8$ pulg. [3 mm] |
| C_1 | VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN C) | $C_1 \geq 2L$ o $2L'$, EL QUE SEA MAYOR |

*La discontinuidad alargada puede ser localizada en la soldadura "A" o "B". Para fines de esta ilustración, la discontinuidad alargada "B" fue localizada en la soldadura "B".

Caso I—Discontinuidad en la Intersección de Soldadura

Figura 6.3 (Continuación)—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares con Carga Cíclica en Compresión (Limitaciones de Porosidad y Discontinuidades de Fusión) (ver 6.12.2.2)

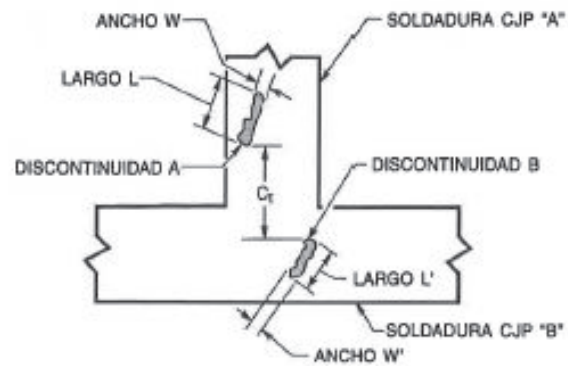


CASE II LIMITACIONES DE DISCONTINUIDADES

| DIMENSION DE DISCONTINUIDAD | LIMITACIONES | CONDICIONES |
|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| L | VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN B) | $L \geq 1/8$ pulg. [3 mm] |
| C_1 | VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN C) | $C_1 \geq 5/8$ pulg. [16 mm] |

Case II—Discontinuidad en el Borde Libre de la Soldadura de Canal CJP

Figura 6.3 (Continuación)—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares con Carga Cíclica en Compresión (Limitaciones de Porosidad y Discontinuidades de Fusión) (ver 6.12.2.2)

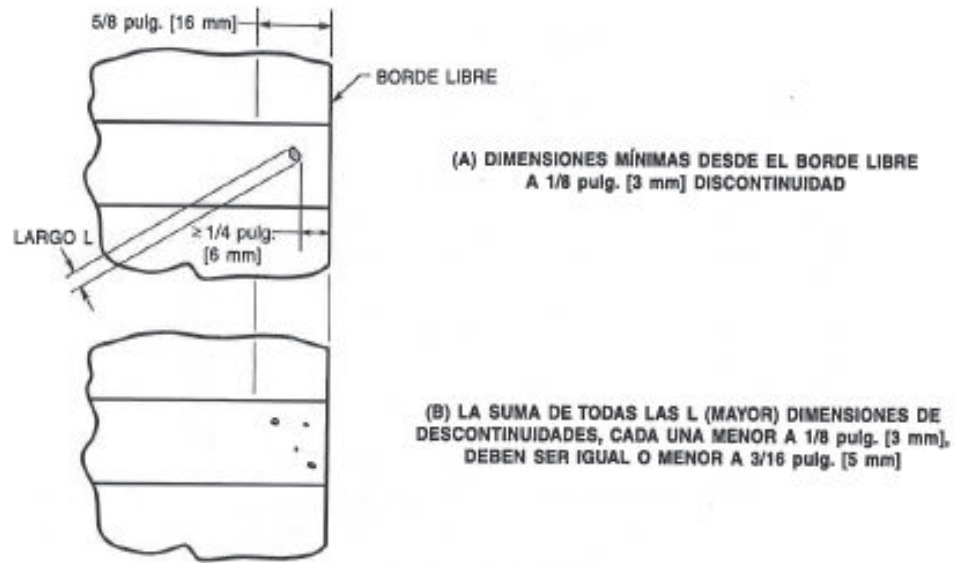


CASE III LIMITACIONES DE DISCONTINUIDADES

| DIMENSION DE DISCONTINUIDAD | LIMITACIONES | CONDICIONES |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|
| L | VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN B) | $L \geq 1/8$ pulg. [3 mm] |
| C_1 | VER FIGURA 6.3 GRÁFICO (DIMENSIÓN C) | $C_1 \geq 2L$ o $2L'$, EL QUE SEA MAYOR |

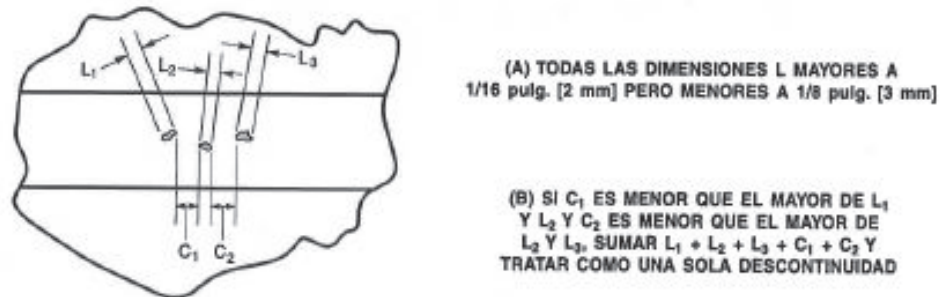
Case III—Discontinuidad en la Intersección de Soldadura

Figura 6.3 (Continuación)—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares con Carga Cíclica en Compresión (Limitaciones de Porosidad y Discontinuidades de Fusión) (ver 6.12.2.2)



Nota: Todas las dimensiones entre las discontinuidades $\geq 2L$ (L siendo la mayor).

Case IV—Discontinuidades Dentro de 5/8 pulg. [16 mm] de un Borde Libre



Nota: La soldadura mostrada arriba es solo una ilustración. Estas limitaciones se aplican a todas las localizaciones o intersecciones. El número de discontinuidades es también solo para ilustrar.

Case V—Discontinuidades Separadas por Menos de $2L$ en Cualquier Parte de la Soldadura (Usar Figura 6.3 Gráfico Dimensión "B" por Falla Individual)

Figura 6.3 (Continuación)—Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones
No Tubulares con Carga Cíclica en Compresión (Limitaciones de Porosidad
y Discontinuidades de Fusión) (ver 6.12.2.2)

ANEXO 2.

PROGRAMACIÓN COMPLETA DE LA INTERFAZ

INTRUDUCCIÓN

```

function varargout = INTRODUCCION(varargin)
% INTRODUCCION MATLAB® code for INTRODUCCION.fig
%   INTRODUCCION, by itself, creates a new INTRODUCCION or raises the
existing
%   singleton*.
%
%   H = INTRODUCCION returns the handle to a new INTRODUCCION or the
handle to
%   the existing singleton*.
%
%   INTRODUCCION('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the
local
%   function named CALLBACK in INTRODUCCION.M with the given input
arguments.
%
%   INTRODUCCION('Property','Value',...) creates a new INTRODUCCION or
raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs
are
%   applied to the GUI before INTRODUCCION_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property
application
%   stop. All inputs are passed to INTRODUCCION_OpeningFcn via
varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only
one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help INTRODUCCION

% Last Modified by GUIDE v2.5 12-Aug-2016 11:23:30

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @INTRODUCCION_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @INTRODUCCION_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});

```

```

else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before INTRODUCCION is made visible.
function INTRODUCCION_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to INTRODUCCION (see VARARGIN)

% Choose default command line output for INTRODUCCION
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

A=imread('INTRO1.jpg');
A=uint8(A);
Imag=image(A,'Parent', handles.axes4);
set(handles.axes4,'Visible','off','YDir','Reverse',...
    'XLim',get(Imag,'Xdata'),'YLim',get(Imag,'YData'));

A1=imread('INTRO5.jpg');
A1=uint8(A1);
Imag1=image(A1,'Parent', handles.axes5);
set(handles.axes5,'Visible','off','YDir','Reverse',...
    'XLim',get(Imag1,'Xdata'),'YLim',get(Imag1,'YData'));

% UIWAIT makes INTRODUCCION wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = INTRODUCCION_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```



```

        'gui_OpeningFcn', @ALEMAN_NARVAEZ_OpeningFcn, ...
        'gui_OutputFcn', @ALEMAN_NARVAEZ_OutputFcn, ...
        'gui_LayoutFcn', [] , ...
        'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before ALEMAN_NARVAEZ is made visible.
function ALEMAN_NARVAEZ_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to ALEMAN_NARVAEZ (see VARARGIN)

% Choose default command line output for ALEMAN_NARVAEZ
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes ALEMAN_NARVAEZ wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = ALEMAN_NARVAEZ_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

hold off

```

```

[nombre dire]=uigetfile('*.jpg', 'Abrir');
if nombre == 0
    return
end

imagen=imread(fullfile(dire, nombre));
set(gcf, 'CurrentAxes', handles.axes1)
imshow(imagen)
handles.img=imagen;
guidata(hObject, handles)
axis off
% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

hold off
set(gcf, 'CurrentAxes', handles.axes3)
cla
set(gcf, 'CurrentAxes', handles.axes1)

ima=handles.img;
B=imcrop(ima);
set(gcf, 'CurrentAxes', handles.axes3)
imshow(B)

handles.B=B;
guidata(hObject, handles);
axis off

hold off
set(handles.slider1, 'Value', 0.5)
set(handles.text6, 'String', '')

% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
v=get(handles.text6, 'String');
if isempty(v)
    warndlg('Seleccione un valor de Sensitividad', 'ADVERTENCIA')
else

    R1= handles.R1;
    set(handles.text7, 'string', num2str(R1));

    R2= handles.R2;
    set(handles.text31, 'string', num2str(R2));

    R3= handles.R3;
    set(handles.text23, 'string', num2str(R3));

```

```

R4= handles.R4;
set(handles.text25, 'string', num2str(R4));

R5= handles.R5;
set(handles.text27, 'string', num2str(R5));

R6= handles.R6;
set(handles.text29, 'string', num2str(R6));

R7= handles.R7;
set(handles.text34, 'string', num2str(R7));

d=handles.d;
set(handles.text18, 'string', num2str(d));

QuemonAL=handles.QuemonAL;
set(handles.text32, 'string', num2str(QuemonAL));

EscoriaAL=handles.EscoriaAL;
set(handles.text24, 'string', num2str(EscoriaAL));

FP1=handles.FP1;
set(handles.text26, 'string', num2str(FP1));

FF1=handles.FF1;
set(handles.text28, 'string', num2str(FF1));

M1=handles.M1;
set(handles.text30, 'string', num2str(M1));

SD=handles.SD;
set(handles.text35, 'string', num2str(SD));

end

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject, 'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject, 'String')) returns contents of edit1 as a
double
L1=str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(L1);
    warndlg('El valor de Longitud de la Toma Fotografiada debe ser
numérico y mayor a cero', 'ADVERTENCIA');
    set(handles.edit1, 'String', 10);
    L1=10;
elseif L1<=0;

```



```

    warndlg('El valor de Longitud de la Toma Fotografiada debe ser
numérico y mayor a cero','ADVERTENCIA');
    set(handles.edit1,'String',10);
    L1=10;
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a
double

E=str2double(get(hObject,'String'));
if isnan(E);
    warndlg('El valor de Espesor de Placa Radiografiada debe ser numérico
y mayor a cero','ADVERTENCIA');
    set(handles.edit2,'String',5);
    E=5;
elseif E<=0;
    warndlg('El valor de Espesor de Placa Radiografiada debe ser numérico
y mayor a cero','ADVERTENCIA');
    set(handles.edit2,'String',5);
    E=5;
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))

```

```

        set(hObject,'BackgroundColor','white');
    end

% --- Executes on slider movement.
function slider1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to slider1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'Value') returns position of slider
%        get(hObject,'Min') and get(hObject,'Max') to determine range of
slider
cla
z=get(handles.edit1,'String');
z1=get(handles.edit2,'String');
if isempty(z)
    warndlg('Fije un valor de Longitud','ADVERTENCIA')
elseif isempty(z1)
    warndlg('Fije un valor de Espesor','ADVERTENCIA')
else

sliderVal=get(hObject,'Value');
assignin('base','sliderVal',sliderVal);
set(handles.text6,'String',num2str(sliderVal));
B=handles.B;

I = rgb2gray(B);
ST=str2num(get(handles.text6,'string'));
bw =
imbinarize(I,'adaptive','ForegroundPolarity','dark','Sensitivity',ST);
bw = not(bw);
bw = bwareaopen(bw,100,18);
se = strel('disk',8);
bw = imclose(bw,se);
RGB=handles.img;
s=size(RGB);
s1 = s(1);
s2 = s(2);
sb=size(B);
sb1 = sb(1);
sb2 = sb(2);

L1=str2num(get(handles.edit1,'string'));
Esp=str2num(get(handles.edit2,'string'));
coef=(s2/L1)^2;

sb1mm=sb1/sqrt(coef);
sb2mm=sb2/sqrt(coef);

[B,L] = bwboundaries(bw,'holes',4);
imshow(label2rgb(L,@jet,[.5 .5 .5]))
hold on
imshow(bw);

```

```

stats = regionprops(L);
threshold = 0.68;
n=0;
m=0;
c=0;
w=0;
e=0;
e1=0;
g=0;
g1=0;
g2=0;
if isempty(B)
    R1='No Existe Poros'
    R2='No Existe Quemón'
    R3='No Existe Escoria'
    R4='No Existe Falta de Panetración'
    R5='No Existe Falta De Fusión'
    R6='No Existe Mordedura'
else
for k = 1:length(B)
    boundary = B{k};
    delta_sq = diff(boundary).^2;
    perimeter = sum(sqrt(sum(delta_sq,2)));
    area = stats(k).Area;
    metric = 4*pi*area/perimeter^2;

    if metric > threshold
n=n+1;

metric_string = sprintf('%2.2f',metric);

        centroid = stats(k).Centroid;

        C(n,:)= centroid;
        A(n,:)= area;
        plot(centroid(1),centroid(2),'ko');
        text(boundary(1,2)-35,boundary(1,1)+13,metric_string,'Color','y',...
            'FontSize',10,'FontWeight','bold');

        Amm=A*1/coef;

        for k1= 1:length(Amm)
            d(k1,:) = (sqrt((Amm(k1)*4)/pi));

        end

else
m=m+1;

metric_string = sprintf('%2.2f',metric);
BH=stats(k).BoundingBox;

```

```

centroid = stats(k).Centroid;

    LA1(m,:) = BH;
plot(centroid(1), centroid(2), 'ko');
text(boundary(1,2)-35, boundary(1,1)+13, metric_string, 'Color', 'y', ...
     'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');

    LA1mm = LA1 * 1 / sqrt(coef);

end

end

end

    for j = 1:length(B)
        boundary = B{j};
        plot(boundary(:,2), boundary(:,1), 'w', 'LineWidth', 1)

    end

if exist('d')==0;
    R1='No Existe Poros'
else
    Poros=d;

    if d(k1,:) > 3.0
        R1='Porosidad No Aceptada'
    elseif d(k1,:) < 2.0
        R1='Porosidad Aceptada'
    else
        R1='De Ser Poros Agrupados, No Aceptada'
    end
end

if exist('LA1mm') == 0;

    R2='No Existe Quemón'
    R3='No Existe Escoria'
    R4='No Existe Falta de Penetración'
    R5='No Existe Falta De Fusión'
    R6='No Existe Mordedura'

else
T=LA1mm(:,3);
Q=LA1mm(:,4);
J=T.*Q;
J1=(2*T + 2*Q).^2;

sla = size(LA1mm);

```

```

sla1 = sla(1);
for k2= 1:sla1

    W(k2,:)=(J(k2,:))/(J1(k2,:));

    if 0.060 < W(k2,:) & W(k2,:) < 0.066;

        c=c+1;
        EQ(c,:)=LA1mm(k2,:);

    else
        w=w+1;
        F(w,:)=LA1mm(k2,:);

    end

end

end

if exist('EQ')==0;

    R2='No Existe Quemón'
    R3='No Existe Escoria'

else
    slEQ = size(EQ);
    slEQ1 = slEQ(1);

    EQ3=EQ(:,3);

    for k3=1:slEQ;

        if EQ3(k3,*)>0.20*sb1mm;
            e=e+1;
            Quemon(e,:)=EQ(k3,:);

        else
            e1=e1+1;
            Escoria(e1,:)=EQ(k3,:);
        end

    end

end

if exist('Quemon')==0;
    R2='No Existe Quemón'
else
    QuemonE1= Quemon(:,3);
    QuemonE2= Quemon(:,4);
    QuemonAL=[QuemonE1 QuemonE2];

```

```

if sum(QuemonE1)>0.08*L1 | sum(QuemonE2)>0.08*L1
    R2= 'Quemón Rechazado'
elseif QuemonE1< 6 & QuemonE1< Esp & QuemonE2< 6 & QuemonE2 < Esp ;
    R2='Quemón Aceptado'
else
    R2= 'Quemón Rechazado'
end
end

if exist('Escoria')==0;
    R3='No Existe Escoria'
else
    EscoriaE1= Escoria(:,3);
    EscoriaE2= Escoria(:,4);
    EscoriaAL=[EscoriaE1 EscoriaE2];

if sum(EscoriaE1)> 0.08*L1
    R3= 'Escoria rechazada'
elseif EscoriaE1 < 3 & EscoriaE2 < 3
    R3='Escoria Aceptada'
else
    R3='Escoria Rechzada'
end
end

if exist ('F')==0;

    R4='No Existe Falta de Panetración'
    R5='No Existe Falta De Fusión'
    R6='No Existe Mordedura'
else
    slF = size(F);
    slF1 = slF(1);
    FE=F(:,2);

    for k4=1:slF1

        if 0.44*sb1mm<FE(k4,:) & FE(k4,*)<0.56*sb1mm
            g=g+1;
            FP(g,:)=F(k4,:);

            elseif [0.05*sb1mm<FE(k4,:) & FE(k4,*)<0.39*sb1mm] |
[0.61*sb1mm<FE(k4,:) & FE(k4,*)<0.95*sb1mm]
                g1=g1+1;
                FF(g1,:)=F(k4,:);
            else
                g2=g2+1;
                Mord(g2,:)=F(k4,:);
            end
        end
    end
end
end

```

```

if exist('FP')==0;
    R4='No Existe Falta de Panetración'
else
    FP1= FP(:,3);
    if sum(FP1)>0.08*L1
        R4= 'Falta de Penetración Rechazada'

    else
        R4='Falta de Penetración Aceptada'
    end
end

if exist('FF')==0;
    R5='No Existe Falta De Fusión'
else
    FF1= FF(:,3)
    if sum(FF1)>0.08*L1
        R5= 'Falta de Fusión Rechazada'
    else
        R5='Falta de Fusión Aceptada'
    end
end

if exist('Mord')==0;
    R6='No Existe Mordedura'
else
    M1= Mord(:,3);
    if sum(M1)>(L1/6)
        R6= 'Mordedura Rechazada'
    else
        R6= 'Mordedura Aceptada'
    end
end

if exist('d')==0 & exist('EQ')==0;
    SD=0
elseif exist('d')==0;
    SD=sum(EQ3)
elseif exist('EQ')==0;
    SD=sum(d)
else
    SD=sum(EQ3)+sum(d)
end

if SD>0.08*L1
    R7='Suma de Discontinuidades Rechazada'
else
    R7='Suma de Discontinuidades Aceptada'
end

handles.R1=R1;
handles.R2=R2;
handles.R3=R3;
handles.R4=R4;

```

```

handles.R5=R5;
handles.R6=R6;
handles.R7=R7;
if exist('d')==0;
d=[];
end
if exist('QuemonAL')==0;
QuemonAL=[];
end
if exist('EscoriaAL')==0;
EscoriaAL=[];
end
if exist('FP1')==0;
FP1=[];
end
if exist('FF1')==0;
FF1=[];
end
if exist('M1')==0;
M1=[];
end
if exist('SD')==0;
SD=[];
end

handles.d=d;
handles.QuemonAL=QuemonAL;
handles.EscoriaAL=EscoriaAL;
handles.FP1=FP1;
handles.FF1=FF1;
handles.M1=M1;
handles.SD=SD;

guidata(hObject,handles);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function slider1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to slider1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: slider controls usually have a light gray background.
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB®
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
close(ALEMAN_NARVAEZ)

```