

**SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA EL RECONOCIMIENTO EN
RADIOGRAFÍAS DE DEFECTOS DE SOLDADURA EN ACEROS**

MAYERLY JHOJANA FERNÁNDEZ TORRES

LILIANA ROCÍO ORTIZ COLMENARES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES

BUCARAMANGA

2010

**SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA EL RECONOCIMIENTO EN
RADIOGRAFÍAS DE DEFECTOS DE SOLDADURA EN ACEROS**

MAYERLY JHOJANA FERNÁNDEZ TORRES

LILIANA ROCÍO ORTIZ COLMENARES

**Tesis de grado, presentada como requisito para optar al título de ingeniero
metalúrgico**

Área: Simulación

Modalidad: Investigación

Director

MSc Emiro Muñoz Jerez

Codirectora

MSc Luz Amparo Quintero

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIAS DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2010

DEDICATORIA

A Dios por brindarme la oportunidad de tener una familia y que ellos
creyeran en mí.

A mis padres por apoyarme en los momentos buenos y malos que he
tenido, además por darme la oportunidad de estudiar.

A mi hermano mancho quien con su forma de ser me ha enseñado que
todo en la vida tiene su lado amable.

A Laura, mi confidente y amiga con quien he pasado momentos
inolvidables, y con quien he contado incondicionalmente.

A Pily y Giovanni quienes me han entendido en todo momento y me han
enseñado que con un poco de esfuerzo todo se puede lograr.

A Johana Vera quien me ha brindado su apoyo en mis momentos tristes.

A Lili quien me aguato todos estos meses de proyecto.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma han dado un granito
de arena para ser lo que soy en estos momentos.

Mayerly Jhojana Fernández Torres

DEDICATORIA

*A Dios por permitir que esto fuera posible y darme siempre las fuerzas
para seguir adelante.*

*A mis padres porque todo lo que soy se lo debo a su ejemplo de
tenacidad, valor, humildad y amor.*

*A mi hermana quien a pesar de la distancia esta siempre junto a mí
enseñándome que no importan los obstáculos que se nos presenten
siempre podremos superarlos juntas, gracias por ayudarme a vencer
las barreras.*

A mi familia por su apoyo incondicional.

A mis amigos con quienes compartí momentos inolvidables.

AGRADECIMIENTOS

A la universidad Industrial de Santander por habernos brindado las bases para formarnos como profesionales.

Al director MSc EMIRO MUÑOZ JEREZ, quien con su paciencia y conocimiento nos brindo las herramientas necesarias para alcanzar este logro.

A la codirectora MSc LUZ AMPARO QUINTERO, quien nos guió y dio su apoyo incondicional formando parte fundamental para la realización del proyecto.

A la Ingeniera Electrónica DIANA MARGARITA QUINTERO OLIVEROS, quien estuvo asesorándonos durante la realización de la tesis.

Al LEANDRO ARIZA, quien de forma objetiva nos mostro el camino que debíamos seguir.

Al Ingeniero GERMAN QUIÑONEZ, quien siempre nos brindo su colaboración a lo largo del desarrollo del proyecto.

Al Ingeniero JUAN CARLOS LUNA, quien nos brindó su conocimiento para cumplir nuestro objetivo.

A nuestros compañeros REINALDO GUTIERREZ y DIEGO ULLOA por su colaboración en la realización de nuestro proyecto.

A los profesores y técnicos de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica por brindarnos el conocimiento necesario para nuestra formación ingenieril.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.1 Planteamiento del Problema	22
1.2 Justificación	23
1.3 Objetivos	23
1.3.1 Objetivo general	23
1.3.2 Objetivos específicos	24
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	25
2.1 Radiografía Industrial	25
2.2 Defectología	26
2.3 Bases de Datos	28
2.3.1 Bases de datos relacionales	28
2.4 Tratamiento Digital de la Imagen	29
2.4.1 Histograma	29
2.4.1.1 Ecuación del histograma	29
2.4.2 Filtrado espacial	29
2.4.3 Filtro mediana	30
2.4.4 Binarización de una imagen	30
3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACION	31
3.1 Fase 1: Analisis de Requerimientos	31
3.2 Fase2: Diseño del Sistema	32
3.2.1 Metodología para la clasificación de los diferentes tipos de defectos	34
3.3 Fase 3: Codificación del Sistema	38
3.3.1 Caracterización de los defectos	39
3.3.1.1 Proceso seguido para la detección del poro, penetración incompleta y grieta longitudinal	41

3.3.1.2 Proceso seguido para la detección de los poros vermiculares y las inclusiones de escoria	47
3.3.1.3 Proceso seguido para la detección de la socavadura, falta de fusión, escoria alineada y grieta transversal	53
3.3.2 Factor de conversión de un pixel cuadrado a un centímetro cuadrado.	56
3.3.3 Creación de la base de datos en Microsoft Access	57
3.3.4 Creación de las Interfaces gráficas de Usuario	59
3.4 Fase 4: Realización de Pruebas de Desempeño	61
3.5 Fase 5: Implantación o Puesta en Marcha del Sistema en Mantenimiento	63
3.6 Fase 6: Realización del Informe Final	63
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	69

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelo en cascada	31
Figura 2. Gráfico del diseño del sistema de información	33
Figura 3. Metodología para la clasificación de los diferentes tipos de defectos	36
Figura 4. Caracterización para la detección de los defectos	40
Figura 5. Imagen digital del poro. a) En mapa de colores; b) En escala de grises	42
Figura 6. Histograma del poro. a) Sin normalizar; b) Normalizada	43
Figura 7. Modificación del histograma para el poro. a) Imagen cortada; b) Histograma de la imagen cortada; c) Imagen modificada; d) Histograma modificado	44
Figura 8. Aplicación del filtro mediano para el poro	46
Figura 9. Imagen binaria para el poro	46
Figura 10. Radiografías que presentan varios defectos del mismo tipo	47
Figura 11. Imagen digital de las inclusiones de escoria. a) En mapa de colores; b) En escala de grises	48
Figura 12. Histograma de las inclusiones de escoria. a) Sin normalizar; b) Normalizada	49
Figura 13. Modificación del histograma para una inclusión de escoria. a) Imagen cortada; b) Histograma de la imagen cortada; c) Imagen modificada; d) Histograma modificado	50
Figura 14. Aplicación del filtro mediano para una inclusión de escoria	51
Figura 15. Imagen binaria para una inclusión de escoria	52
Figura 16. Imagen de las inclusiones de escoria. a) Sin tratamiento; b) Con tratamiento	52
Figura 17. Modificación del histograma para la inclusión de escoria. a) Imagen cortada; b) Histograma de la imagen cortada; c) Imagen modificada; d) Histograma modificado	53

Figura 18. Aplicación del filtro mediano a la falta de fusión	55
Figura 19. Especificación de la región de interés	56
Figura 20. Cuadrícula tomada para hallar la relación entre un pixel cuadrado y un centímetro cuadrado	56
Figura 21. Creación de la base de datos en blanco	58
Figura 22. Creación de tabla tipo_defecto	58
Figura 23. Elaboración de los campos en la tabla tipo_defecto	59
Figura 24. Relaciones entre las tablas de Microsoft Access	59
Figura 25. Pantalla Menú	60
Figura 26. Opciones en la interfaz gráfica de un defecto	60
Figura 27. Interfaz de las características	61

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Defectos de soldadura	26
Cuadro 2. Definición de los diferentes parámetros usados para la clasificación de los defectos	34
Cuadro 3. Expresiones matemáticas usadas para la clasificación de los defectos	35
Cuadro 4. Características de la Cámara Fotográfica	38
Cuadro 5. Tiempo de la toma de las imágenes digitales	39
Cuadro 6. Medidas para hallar el factor de conversión de un pixel cuadrado y un centímetro cuadrado	57
Cuadro 7. Comparación de las medidas obtenidas con el sistema de información y las radiografías sin digitalizar	62

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. El modelo en cascada	69
Anexo B. Manual del usuario	71
Anexo C. Manual de operación	77

GLOSARIO

Bit: Es una señal electrónica que puede estar encendida (1) o apagada (0). Es la unidad más pequeña de información que utiliza un ordenador. Son necesarios 8 bits para crear un byte.

Campos (atributos): Son los distintos tipos de datos que componen la tabla.

Clave: Es una referencia que se utiliza para identificar los registros de forma única y está formada por uno o más columnas de los registros.

Clave principal: La que es mínima en cuanto al número de campos que la componen.

Columnas: Representan los atributos de los objetos o entidades descritas.

Datos: La información que va contenida en los campos de la tabla.

Dominio: El conjunto de valores que puede tomar un campo.

Especificación del histograma: Se fuerza a la imagen de salida a tener un determinado histograma.

Filas: Contiene los valores de los objetos o entidades descritas.

Mapas de Bits: Término técnico que se le da a la matriz de píxeles que componen una imagen digital.

Matlab (Matrix Laboratory): Es un sistema de trabajo interactivo y una herramienta importante para cualquier tarea que requiera cálculos matriciales, ya sea que involucren ecuaciones, sistemas característicos, mínimos cuadrados, etc. Así como la visualización gráfica de los mismos.

Negatoscopio: Es un dispositivo diseñado para la observación directa de las imágenes impresas en placas radiográficas. El cual consta de una fuente de luz que produce una intensidad de iluminación uniforme.

Pixel: Es la unidad mínima de información por la que puede estar formada una fotografía digital, concretamente es un punto de color determinado.

Resolución: Es la cantidad de píxeles por unidad de longitud que componen una fotografía digital, y se expresa normalmente en píxeles por pulgada , o en píxeles por centímetro.

Ruido: Consiste en transiciones bruscas en los niveles de gris.

Segmentación: Partición de una imagen en regiones u objetos.

Soldadura en filete: Soldadura de una sección aproximadamente triangular, uniendo dos superficies que están relativamente en ángulo recto una de otra, en uniones sobrepuestas, en "T" o esquinas.

Tablas: Se encuentra formada por filas y columnas.

Umbralización: consiste en elegir un valor de intensidad y convertir todo lo que es superior a ese valor a uno y lo que es inferior a cero.

RESUMEN

TITULO: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA EL RECONOCIMIENTO EN RADIOGRAFÍAS DE DEFECTOS DE SOLDADURA EN ACEROS.

AUTORES: FERNÁNDEZ TORRES, Mayerly Jhojana. ORTIZ COLMENARES, Liliana Rocío **

PALABRAS CLAVES: defectología en soldadura, MATLAB, radiografía industrial, sistema de información, tratamiento digital de imágenes.

DESCRIPCIÓN:

La radiografía industrial es un ensayo no destructivo que permite detectar discontinuidades superficiales, sub-superficiales e internas presentes en un material sin la necesidad de alterar o dañar sus propiedades físicas. Este método es uno de los más utilizados en la actualidad para evaluar la calidad de las estructuras soldadas ya que muestra los diferentes tipos de defectos que pueden presentarse y gracias a esto se pueden evitar fallas en el rendimiento, funcionamiento y vida útil del mismo.

Un sistema de información brinda las herramientas suficientes para realizar la inspección de las radiografías de soldadura en aceros, previa digitalización y tratamiento de las imágenes radiográficas pudiéndose mostrar los diferentes tipos de defectos presentes y facilitando información sobre cada uno de ellos.

Para el desarrollo del presente sistema de información se utilizó la metodología del modelo en cascada el cual consiste en ordenar las etapas que se siguen para la evolución y el funcionamiento del sistema. Simultáneamente se trabajó con MATLAB dado que tiene una gama completa de algoritmos enfocados al tratamiento digital de las imágenes que en este caso son radiográficas. De esta forma, ha sido posible resaltar la información asociada a patrones radiográficos de defectos seleccionados de soldadura en aceros de la colección del Instituto Internacional de Soldadura (IIW).

* Proyecto De Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales.

Director Emiro Muñoz Jerez. Codirector Luz Amparo Quintero.

ABSTRACT

TITLE: INFORMATION SYSTEM FOR RADIOGRAPHIC RECOGNITION OF STEEL WELDING DEFECTS*

AUTORES: FERNÁNDEZ TORRES, Mayerly Jhojana. ORTIZ COLMENARES, Liliana Rocío **

KEYWORDS: welding defectology, MATLAB, industrial radiography, information system, digital image processing.

DESCRIPCIÓN

Industrial radiography is a nondestructive test that allows to detect surface, sub-surface and internal discontinuities present in a material without altering or damaging their physical properties. Nowadays, this test is one of the most used to assess the quality of welded structures as it shows the different kinds of defects that can occur and due to this, failures in performance, operation and lifetime can be prevented.

An information system provides the necessary tools to perform the radiographic inspection of steel welding, after scanning and processing radiographic images, being able to show the different kinds of defects present and making it easier to get information about each one of them.

For this information system development the cascade model methodology was used, which consists of ordering the followed steps for the system evolution and performance; simultaneously, MATLAB software was used; this program has a full range of algorithms focused on digital image processing, in this case, radiographic images. Thus it has been possible to highlight the information in radiographic patterns of the International Institute of Welding.

* Work of Degree

** Faculty of Physical-chemical Engineering School of metallurgical Engineering and Science of Materials.

Director Emiro Muñoz Jerez. Codirector: Luz Amparo Quintero.

INTRODUCCIÓN

La radiografía es uno de los tipos de ensayos no destructivos más utilizados industrialmente para la inspección de materiales y piezas, que se basa en la absorción diferencial de radiación penetrante por la pieza que está siendo inspeccionada. Las variaciones de masa, estructura y composición del material, determinan que diferentes regiones de una misma pieza absorban cantidades diferentes de radiación penetrante, la cual podrá ser detectada a través de una película radiográfica. Esa variación de la cantidad de radiación absorbida, indicará la existencia de una discontinuidad interna en un material.

Como ventajas de aplicación del ensayo radiográfico se pueden citar las siguientes:

- Puede ser aplicado a la mayoría de materiales.
- Puede dejar un registro permanente del resultado del examen.
- Revela la naturaleza interna del material.
- Puede ser aplicado en un proceso, indicando la acción correctiva necesaria en caso de defectos [1].

La principal característica de los rayos X es que atraviesan los cuerpos opacos sin reflejarse ni refractarse, siendo absorbidos en mayor o menor grado según el espesor y la densidad del material, y la longitud de onda de la radiación. Alcanzan así a impresionar una película o placa fotográfica, situada en el lado opuesto del material.

Los defectos de los materiales como grietas, bolsas, inclusiones, etc. de distintas densidades, absorben las radiaciones en distinta proporción que el material base, de forma que estas diferencias generan detalles de contraste claro-oscuro en la placa fotográfica colocada detrás de la pieza. Esto es lo que permite identificar defectos en la inspección de una soldadura por radiografía [2].

Para facilitar la labor se usan colecciones radiográficas de referencia, en las cuales los defectos están claramente identificados para unas condiciones dadas de tipo de material y tipo de soldadura [3], que le permite al operario capacitarse para la evaluación radiográfica. Sin embargo el cansancio, el volumen de trabajo y otros factores pueden impedir que se realice adecuadamente el examen, por tanto un sistema de información (es un programa que facilita la identificación y visualización de discontinuidades presentes en el cordón de soldadura de radiografías patrón) sirve para identificar con más precisión la defectología y realizar una mejor capacitación del personal.

1. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la importancia industrial que presentan los ensayos no destructivos para la inspección en la calidad de las piezas, es importante tener un estricto control en su realización, así como el análisis de sus resultados. Ya que a partir de estos se puede garantizar la confianza en las piezas, prevenir accidentes y evitar riesgos de vidas humanas.

Así pues, uno de los ensayos no destructivos más utilizados es la radiografía, ya que permite la detección de discontinuidades superficiales, sub-superficiales e internas, y es muy usada en la inspección de fundiciones, forja y soldaduras, donde existe la necesidad de evitar defectos internos en el material [4].

Como tal, la evaluación radiográfica se hace a través de un negatoscopio y la persona a cargo del proceso (el inspector) es el responsable de la detección de los posibles defectos presentes, al momento de analizar las películas radiográficas. Por tanto la toma de decisiones está directamente relacionada con las habilidades del inspector, por ejemplo: su experiencia, agudeza visual, entre otras. Sin embargo, las largas jornadas laborales, el cansancio visual, la acumulación de radiografías y el poco tiempo para realizar su análisis puede tener como consecuencia la omisión de detalles que son relevantes al momento de dar un informe sobre la calidad de la pieza inspeccionada [5].

Los registros obtenidos con la información de las piezas se deben conservar un tiempo para corroborar los análisis hechos. La manipulación, uso y transporte de las películas radiográficas se debe hacer con precaución debido a que un mal manejo de las mismas trae como consecuencia pérdida, desgaste y alteración de la información presente. Además, los factores ambientales como la temperatura, la humedad y el flujo de aire pueden afectarlas.

Estudios realizados han demostrado que el rango de humedad recomendable es del 30 al 60% debido a que porcentajes superiores favorecen la producción de hongos [6].

Las impurezas en el aire como partículas sólidas se pueden depositar en las radiografías e interferir con la legibilidad y producir rasguños, así mismo, reactivos pueden causar la decoloración, impurezas, manchas y deterioro de la imagen.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que el avance tecnológico crece a pasos agigantados, es necesario evolucionar constantemente con el fin de cumplir las exigencias del mercado. En la actualidad los sistemas de información se están implementando como un mecanismo para brindar ayuda al profesional como por ejemplo la agilidad que se adquiere debido a que las inspecciones se realizan de una forma más rápida y precisa.

Otros factores importantes en la industria son los costos y el tiempo que se reducen con los sistemas de información, por tanto es importante establecer una interacción con ellos para usar las herramientas que se encuentran disponibles y así poder tomar las decisiones de forma integral.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Diseñar e implementar un sistema de información para el reconocimiento en radiografías de defectos seleccionados de soldadura.

1.3.2 Objetivos específicos

- Digitalizar y realizar el tratamiento de imágenes radiográficas correspondientes a patrones con defectos seleccionados de soldadura en aceros de la colección del Instituto Internacional de Soldadura (IIW).
- Diseñar e implementar una base de datos que sirva de base de conocimiento para el sistema de información.
- Implementar en MATLAB el código que permita conectar la base del conocimiento con el usuario.
- Validar la información suministrada por el usuario con la existente en la base del conocimiento del sistema de información.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

La radiografía, se considera un tipo de ensayo no destructivo puesto que los objetos inspeccionados, no son dañados ni alterados en sus propiedades y pueden usarse inmediatamente después del ensayo, sin que exista ningún impedimento. En estos ensayos se emplean radiaciones X y gamma que a su vez, constituyen una forma de radiación electromagnética, que se caracterizan por su capacidad de penetrar ciertos materiales que absorben o reflejan la luz ordinaria. Ahora, una vez estas radiaciones se desplazan a través de los materiales bajo análisis, parte de su energía es absorbida o transformada. En particular, la absorción es dependiente del espesor y del número atómico del material ensayado. Finalmente, es la variación en intensidad del haz de radiación emergente del material, lo que permite la creación de una imagen permanente llamada radiografía.

Una radiografía es un registro fotográfico producido sobre una película que es expuesta a rayos X o rayos gamma y posteriormente es sometida a un proceso químico llamado revelado. La densidad (grado de ennegrecimiento) de un área cualquiera de la radiografía depende de la cantidad de radiación recibida por la emulsión de la película siendo directamente proporcional al defecto. Existen límites tanto inferiores como superiores dentro de los cuales deben mantenerse el contraste o diferencias de densidades entre dos zonas adyacentes para que la aparición de detalles sea más fácil y se vean mejor. En algunas normas técnicas [7] se indican valores aceptables entre 1.5 y 4.0.

En particular, la radiografía genera un registro permanente del ensayo, siendo esta una gran ventaja respecto a otros ensayos no destructivos. Además, los objetos a

radiografiar comprenden, en tamaño desde piezas electrónicas, micro miniaturas, hasta enormes componentes de maquinas industriales [8].

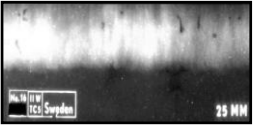
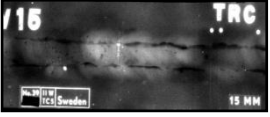
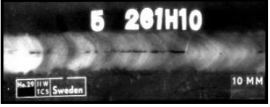
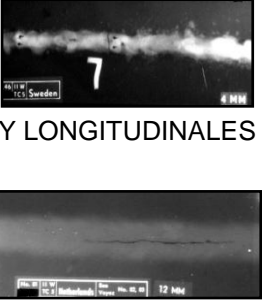
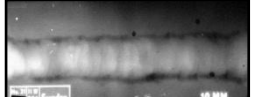
Su uso en la inspección de estructuras soldadas permiten la localización y reparación de piezas y componentes evitando daños y accidentes de ahí la gran importancia de su uso, en la evaluación de este proceso.

2.2 DEFECTOLOGÍA

En el cuadro 1 se presentan nueve defectos típicos que se encuentran en los cordones de soldadura en aceros y algunas de sus principales causas, características físicas y geométricas.

Cuadro 1. Defectos de soldadura

NOMBRE	DEFINICIÓN	CAUSA [10]	APARIENCIA RADIOGRÁFICA[9]
<p>POROSIDAD</p> 	<p>Son cavidades producidas por inclusiones gaseosas. [9]</p>	<p>Exceso de azufre o humedad en el metal base o en el electrodo. Manipulación inapropiada del electrodo. Aceite u otras sustancias volátiles en la junta.</p>	<p>Manchas negras muy definidas y de forma circular.</p>
<p>POROSIDAD VERMICULAR</p> 	<p>Cavidades alargadas o tubulares producidas por inclusiones gaseosas [11].</p>	<p>Al hacer el cambio del electrodo. Contaminación de gases. Flujo de aire.</p>	<p>Manchas oscuras bien definidas de forma alargada a manera de tubitos curvados como bastones.</p>
<p>FALTA DE FUSIÓN</p> 	<p>Defecto en dos dimensiones debido a una falta de unión entre el metal de aporte y el de base [9].</p>	<p>Utilización de un electrodo demasiado grueso para una apertura estrecha. Manejo incorrecto del electrodo.</p>	<p>Línea oscura delgada con bordes muy definidos. La línea puede tender a ser ondulada y difusa.</p>

<p>INCLUSIONES DE ESCORIA</p> 	<p>Escorias u otras materias extrañas aprisionadas durante la soldadura [9].</p>	<p>Alta viscosidad del metal de soldadura. Rápida solidificación. Temperatura demasiado baja.</p>	<p>Manchas oscuras de contorno irregular.</p>
<p>ESCORIA ALINEADA</p> 	<p>Cavidades alargadas que contienen escoria u otras materias extrañas [9].</p>	<p>Inadecuado movimiento del electrodo. En el caso de la soldadura automática, el fundente suele quedar atrapado por una regulación de la máquina.</p>	<p>Sombras lineales más o menos interrumpidas y paralelas a los bordes de la soldadura.</p>
<p>PENETRACIÓN INCOMPLETA</p> 	<p>Falta de fusión en la raíz de la soldadura o ranura debida a que el metal de aporte no ha rellenado la raíz [9].</p>	<p>Dificultad del metal de soldadura en alcanzar la raíz de una soldadura en filete, dejando un vacío en el metal de soldadura entre un miembro y el otro.</p>	<p>Línea oscura, continua o intermitente en el centro del cordón de soldadura.</p>
<p>GRIETAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES</p> 	<p>Discontinuidad es producidas por roturas en el metal [9].</p>	<p>Una junta demasiado rígida. Enfriamiento rápido de materiales templables y frágiles. Alto contenido de carbono o azufre del material base.</p>	<p>Líneas finas oscuras, rectilíneas.</p>
<p>SOCAVADURAS</p> 	<p>Ranura en la superficie a lo largo del borde de la soldadura [9].</p>	<p>Este tipo de defectos es debido a la técnica empleada por el operario. Demasiada corriente o un arco muy largo puede aumentar la tendencia a la sokavadura.</p>	<p>Línea oscura, a veces ancha y difundida a lo largo del borde del cordón.</p>

Fuente: los autores

2.3 BASES DE DATOS

Una base de datos es un conjunto exhaustivo de datos estructurados, fiables y homogéneos, organizados independientemente de su utilización y de su implementación física, accesibles en tiempo real, compartibles por usuarios concurrentes que tiene necesidades de información diferentes y no predecibles en el tiempo.

2.3.1 Bases de datos relacionales. En una computadora, existen diferentes formas de almacenar información. Esto da lugar a distintos modelos de organización de la base de datos: jerárquico, red, relacional y orientado a objetos. Los sistemas relacionales operan conceptualmente sobre archivos o *tablas* de datos y no sobre los datos individuales contenidos en el archivo. Las tablas son un medio de representar la información. Estas permiten presentar dicha información de una forma más compacta, y además es posible acceder a la información contenida en dos o más tablas de forma simultánea.

Las bases de datos relacionales están constituidas por una o más tablas que contiene la información ordenada de una forma organizada y requieren, para poder tratar la información contenida en ellas, un sistema de gestión.

Los sistemas de bases de datos relacionales cumplen las siguientes leyes básicas:

- La base de datos, generalmente, contendrá muchas tablas.
- Una tabla solo contiene un número fijo de campos.
- El nombre de los campos que componen una tabla es distinto.
- Cada registro de una tabla es único.
- El orden de los registros y el orden de los campos de una tabla no está determinado.
- Para cada campo existe un conjunto de valores posibles (dominio) [12].

2.4 TRATAMIENTO DIGITAL DE LA IMAGEN

El principal objetivo de las técnicas de mejora de imagen es procesar una imagen con el fin de hacerla más adecuada que la original para una determinada aplicación o un posterior procesamiento [13].

2.4.1 Histograma. El histograma es un gráfico que ofrece una descripción global de la apariencia de la imagen. En el eje de abscisas se representa el rango de niveles de gris presentes en la imagen, mientras que en el eje de ordenadas se representa la frecuencia de aparición de cada nivel de gris [13].

Usualmente, la modificación del histograma está principalmente enfocada en mejorar la apariencia de la imagen o en resaltar algunas características de ella. En particular, para la realización de este trabajo se hace un uso extensivo de una técnica conocida como la ecualización del histograma.

2.4.1.1 Ecualización del histograma. Partiendo del histograma de la imagen de entrada, el objetivo es obtener en la imagen de salida un histograma uniforme, lo cual me permite ampliar el contraste (expande el rango de los niveles de gris) en las zonas máximas, y a su vez, lo comprime en las zonas mínimas. Debido a que el contraste se expande en la mayoría de los píxeles de la imagen, esta transformación generalmente mejora la detección de rasgos en la misma [13].

2.4.2 Filtrado espacial. El filtrado es una técnica para modificar o mejorar una imagen. Asimismo, puede resaltar o atenuar algunas características de ella. En particular, se le considera una operación de vecindario, en la cual el valor de un píxel dado en la imagen procesada se calcula mediante algún algoritmo que toma en cuenta los valores de los píxeles de la vecindad de la imagen original [13].

El filtrado espacial es la operación que se aplica a una imagen para resaltar o atenuar detalles espaciales con el fin de mejorar la interpretación visual o facilitar

un procesamiento posterior, y constituye una de las técnicas comprendidas dentro del realce de imágenes.

El filtrado espacial es una operación "local" en procesamiento de imagen, en el sentido de que modifica el valor de cada píxel de acuerdo con los valores de los píxeles que lo rodean; se trata de transformar los niveles de gris originales de tal forma que se parezcan o diferencien más de los correspondientes a los píxeles cercanos [13].

2.4.3 Filtro mediana. El filtro mediana permite eliminar un tipo de ruido denominado comúnmente como de sal y pimienta. Es decir, elimina puntos blancos y negros presentes en la imagen [13], al reemplazar el valor de cada uno de estos píxeles por la mediana de los niveles de gris de su vecindario [13].

2.4.4 Binarización de una imagen. La binarización de una imagen consiste en comparar los niveles de gris presentes en la imagen con un valor (umbral) predeterminado. Así si el nivel de gris asociado a un píxel en la imagen es menor que el umbral establecido, se le asigna al píxel (una imagen de salida) el valor mínimo de la escala de grises (negro), por otra parte, si el nivel de gris es mayor, entonces se le asigna el valor máximo en la escala de grises (blanco) [14].

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

Para el desarrollo del presente sistema de información se adoptó un modelo llamado en cascada, en el cual se ordenan las fases que se siguen para construir y hacer evolucionarlo. Ver figura 1.

Figura 1. Modelo en cascada



A continuación se explicarán cada una de las fases:

3.1 Fase 1: ANALISIS DE REQUERIMIENTOS

Se hizo una revisión de trabajos de grado, libros, manuales, artículos, páginas de internet, y normas técnicas; dicha revisión se realizó durante todo el desarrollo del

proyecto para analizar y consultar las necesidades finales del sistema de información, y determinar los objetivos a cubrir.

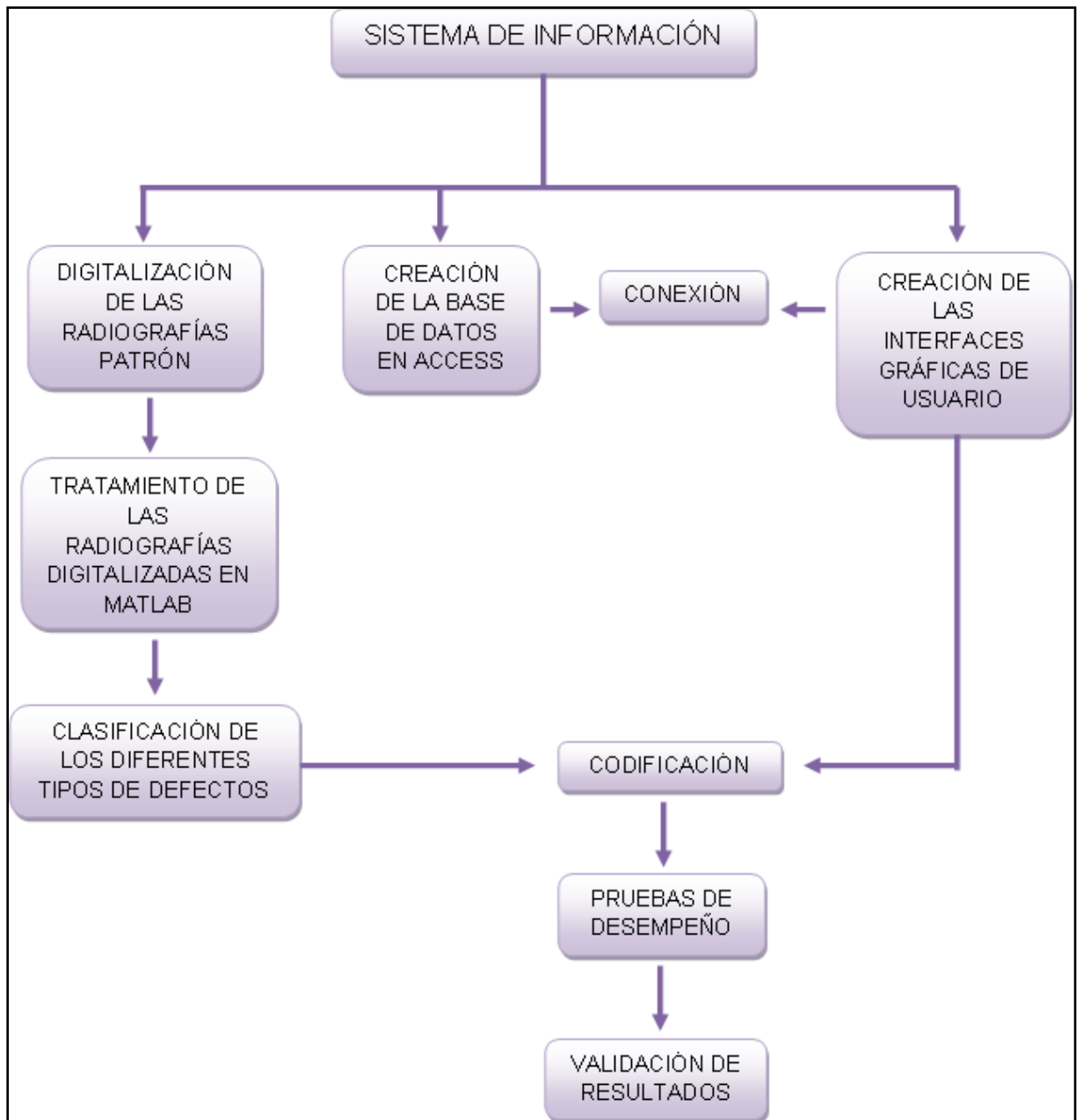
Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente se inició con el análisis de las radiografías patrón de defectos seleccionados que se encuentran en la colección del Instituto Internacional de Soldadura (IIW). Luego, se digitalizaron algunos patrones con un solo tipo de defecto, para hacer su respectivo tratamiento utilizando la ayuda de MATLAB, con el fin de caracterizarlos y obtener los parámetros más relevantes de estos, como son área, perímetro, excentricidad, mínimo rectángulo que lo encierra, altura y longitud. Es decir, características básicas y esenciales para su identificación y posterior clasificación.

Después de la clasificación se usan las interfaces gráficas de usuario para visualizarlas y se crea una base de datos en Microsoft Access para almacenarla.

3.2 Fase2: DISEÑO DEL SISTEMA

Con base en la información reportada de las etapas anteriores, se diseñó el sistema de información y en la figura 2 se muestra el procedimiento que se llevó a cabo para su realización.

Figura 2. Gráfico del diseño del sistema de información



Fuente los autores

Como se indicó anteriormente, el primer paso realizado fue la digitalización de las radiografías patrón debido a que estas no se encontraban en medio magnético. Acto seguido, se realizó su respectivo tratamiento con el programa MATLAB para resaltar los defectos existentes y clasificarlos. Luego, se crearon las bases de

datos en Microsoft Access para almacenar la información acerca de cada uno de los defectos y simultáneamente se crearon las interfaces gráficas de usuario para visualizarlas, por último se estableció la conexión entre las interfaces gráficas de usuario y la base de datos.

Finalmente, se implementaron unas pruebas de desempeño para corroborar que el sistema funciona y en la validación de resultados se verificó la efectividad del sistema de información.

3.2.1 Metodología para la clasificación de los diferentes tipos de defectos. En la figura 3 se muestra un diagrama de flujo de la metodología establecida para la clasificación de los diferentes tipos de defectos. A continuación se presenta la definición de los parámetros para la correcta interpretación de la figura.

Cuadro 2. Definición de los diferentes parámetros usados para la clasificación de los defectos

Definición de parámetros
P = Perímetro del defecto (cm)
A = Área del defecto (cm ²)
H = Altura del defecto (cm)
L = Longitud del defecto (cm)
H _c = Altura del cordón (píxeles)
A _{mr} = Área del mínimo rectángulo que encierra el defecto (cm ²)
E = Excentricidad del defecto
Y = Es la ubicación del defecto en el cordón (píxeles)

Fuente los autores

En el cuadro 3 se muestran las expresiones matemáticas usadas para la clasificación de los defectos.

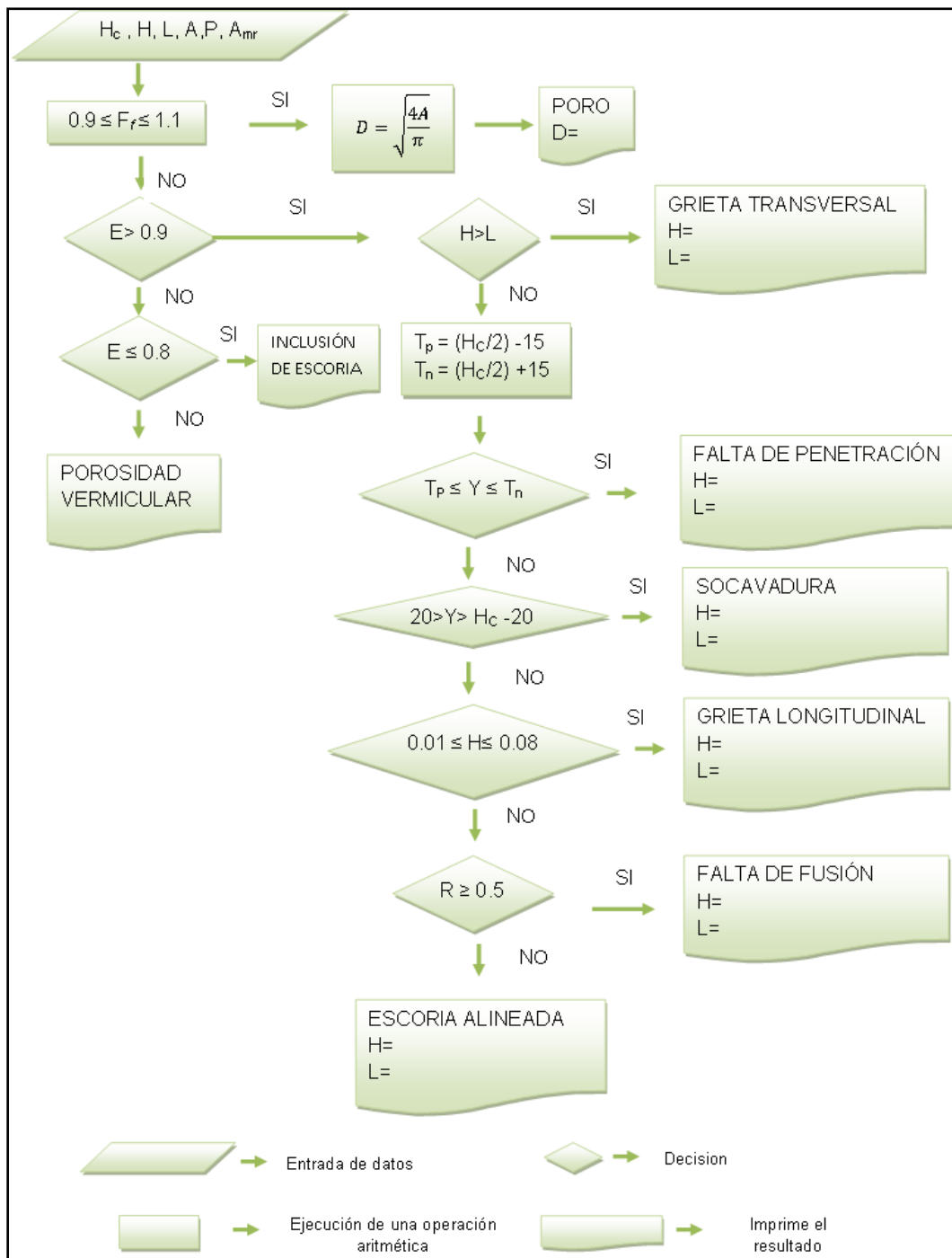
Cuadro 3. Expresiones matemáticas usadas para la clasificación de los defectos

Expresiones matemáticas	
$F_f = \frac{P^2}{4\pi A}$	= Factor de circularidad
$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$	= Diámetro del defecto (cm)
$T_p = \frac{H_c}{2} - 15$	= Ubicación 15 pixeles por encima del centro del cordón
$T_n = \frac{H_c}{2} + 15$	= Ubicación 15 pixeles por debajo del centro del cordón
$R = \frac{A}{A_{mr}}$	= Factor de rectangularidad

Fuente los autores

Los parámetros se obtienen con el tratamiento de la imagen, posteriormente se aplican a las expresiones matemáticas para establecer los criterios de decisión y así realizar la respectiva clasificación de los defectos. A continuación se describe cada uno de ellos.

Figura 3. Metodología para la clasificación de los diferentes tipos de defectos



- **El defecto es un poro.** El factor de circularidad es el parámetro elegido para la clasificación de este defecto y es necesario que se encuentre entre el rango de 0.9 y 1.1 [5].

Debido a que el factor de circularidad va a ser el criterio para la clasificación del poro, al establecer este factor a los demás defectos no se presentan en dicho rango, por lo anterior es necesario establecer un nuevo criterio.

La excentricidad es el factor que se va a usar, el cual determina la forma del defecto, si es mayor que 0.9 el defecto es lineal.

- **El defecto es un poro vermicular o una inclusión de escoria.** Debido a que la inclusión de escoria y el poro vermicular presentan valores en su excentricidad menores que 0.9, fue necesario establecer un nuevo valor que los diferencie. El valor obtenido fue 0.8, por tanto si el defecto tiene excentricidad menor o igual a 0.8 es inclusión de escoria de lo contrario es un poro vermicular.

Por otro lado los defectos que presentan excentricidad mayor que 0.9 se clasifican de la siguiente manera:

- **El defecto es una grieta transversal.** Si la altura del defecto es mayor que su longitud ($H > L$), es una grieta transversal [5].

Si la altura es menor que la longitud del defecto ($H < L$):

- **El defecto es una falta de penetración o una socavadura.** Para la clasificación de estos defectos se tiene en cuenta su posición. El criterio que determina a la falta de penetración es $T_p \leq Y \leq T_n$ el cual se refiere a la ubicación en el centro del cordón, y en la socavadura es $20 > Y > H_c - 20$, que lo ubica en el borde.

- **El defecto es grieta longitudinal.** El criterio para la clasificación de este defecto es su altura, la cual debe estar entre $0.01 \leq H \leq 0.08$.


Si no se encuentra en ese rango de altura establecido entonces:

- **El defecto es una falta de fusión o escoria alineada.** El nuevo criterio establecido para su clasificación es el factor de rectangularidad $R \geq 0.5$ [5]. Si el defecto presenta un factor mayor o igual a 0.5 es una falta de fusión de lo contrario es una escoria alineada.

3.3 Fase 3: CODIFICACIÓN DEL SISTEMA

Para la digitalización de las imágenes se utilizó una cámara suministrada por el CENTIC (Centro de Tecnología de Información y Comunicación) con las características mostradas en el cuadro 4. Este equipo se ubicó de forma perpendicular a un negatoscopio de luz blanca, y se tomaron todas las fotos a una distancia de trabajo de 57cm. El tiempo en cada toma fue diferente debido a que el grado de ennegrecimiento que presentaban los patrones no era el mismo en todos los casos, por tanto para cada radiografía se usó el tiempo sugerido autónomamente por la cámara. Ver cuadro 5.

Cuadro 4. Características de la Cámara Fotográfica

Cámara	Marca	Pixeles	Tipo de sensor	Formato de almacenamiento
	CANON EOS DIGITAL REBEL XT/EOS 350 D	8 megapixeles	Sensor CMOS de una placa	CR2

Fuente los autores

Cuadro 5. Tiempo de la toma de las imágenes digitales

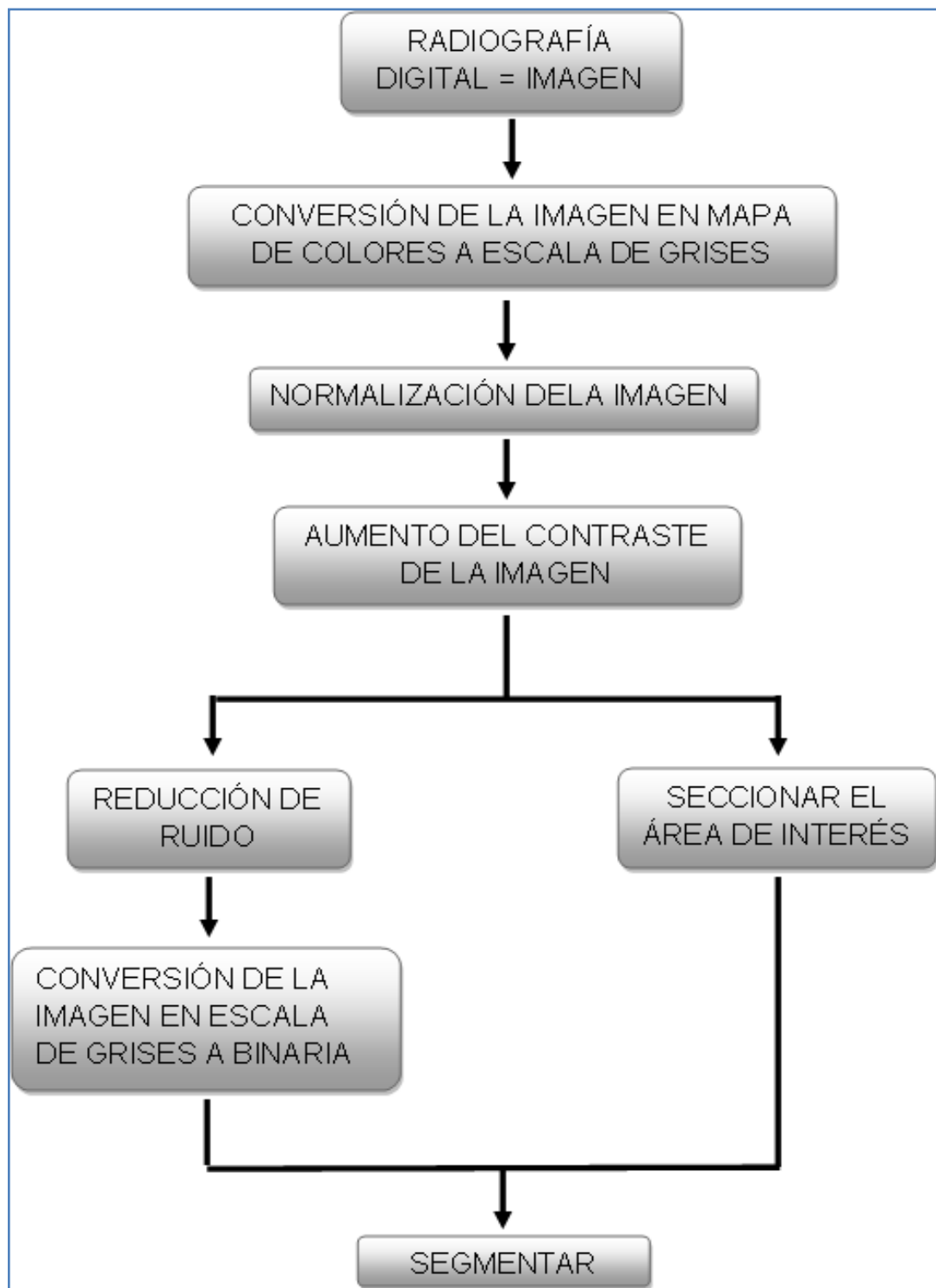
DEFECTO	TIEMPO DE LA TOMA (s)
POROSIDAD	0.4
POROSIDAD VERMICULAR	1.6
FALTA DE FUSIÓN	0.4
INCLUSION DE ESCORIA	0.6
ESCORIA ALINEADA	0.6
PENETRACIÓN INCOMPLETA	0.13
GRIETA TRANSVERSAL	0.25
GRIETA LONGITUDINAL	1.3
SOCAVADURA	0.25

Fuente los autores

Debido a que el formato con que se almacenan las fotografías es CR2 y este no puede ser exportado a MATLAB directamente, se recurrió a un software de terceros (Contenta CR2 Converter) para efectuar una transformación a un formato BMP, formato que si es soportado por MATLAB.

3.3.1 Caracterización de los defectos. El procedimiento seguido para la detección de los defectos se describe en el diagrama de flujo presente en la figura 4.

Figura 4. Caracterización para la detección de los defectos



Fuente los autores

Como un primer paso, en pos de la caracterización, la radiografía digitalizada debe ser transformada desde un espacio de color verdadero (RGB) a una escala monocromática de niveles de gris. Enseguida, se aplica una técnica de normalización del histograma con el fin de aumentar el contraste de la imagen. Ahora, para reducir el ruido de la imagen se aplicó un filtro mediano. Finalmente se aplicó un umbral diferente para todos a la imagen para binarizarla y con base en esta se segmentó el objeto de interés.

Cabe aclarar, que para algunas imágenes, la segmentación se basa en la demarcación, sobre la imagen, de un polígono que encierra y aísla la región de interés, ya que al aplicar una binarización sobre la imagen el objeto de interés perdía su forma.

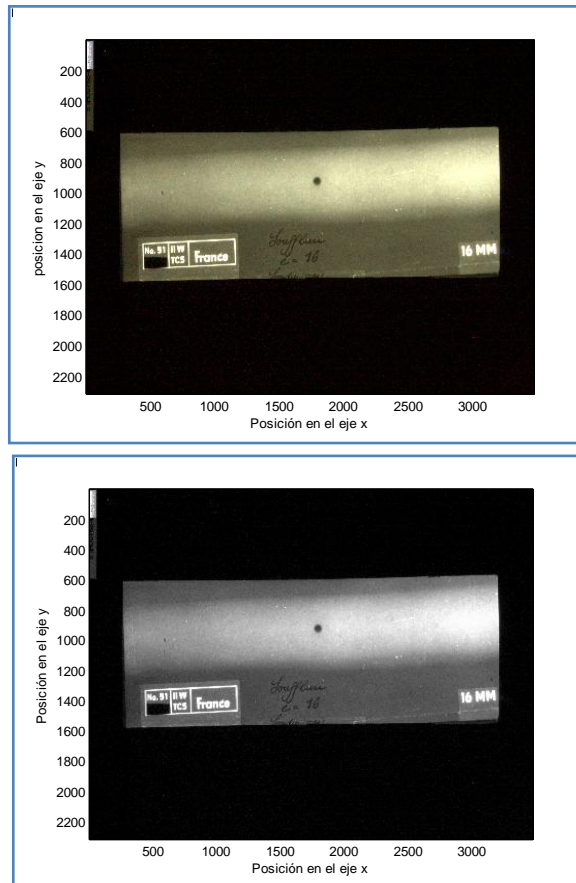
Para mostrar el trabajo elaborado, a continuación se visualiza como se aplicó el tratamiento a los defectos.

3.3.1.1 Proceso seguido para la detección del poro, penetración incompleta y grieta longitudinal

Se explicará el procedimiento seguido para el poro ya que el tratamiento realizado para estos tipos de defectos fue el mismo.

- Conversión de la imagen en color verdadero a escala de grises. En la figura 5 se encuentran presentes las dos imágenes.

Figura 5. Imagen digital del poro. a) En mapa de colores; b) En escala de grises

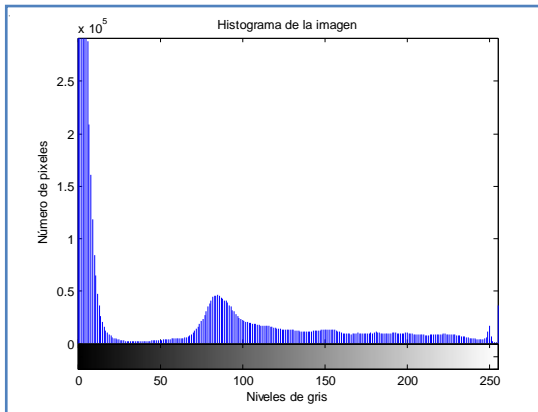


a) En mapa de colores

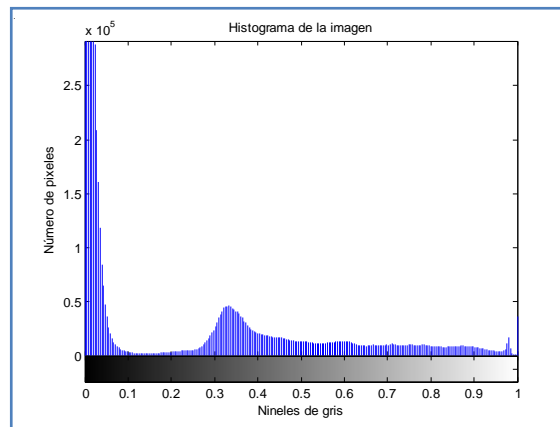
b) En escala de grises

- Normalización de la imagen. Para visualizar este cambio es necesario mostrar el histograma de la imagen sin normalizar y normalizada. Ver figura 6.

Figura 6. Histograma del poro. a) Sin normalizar; b) Normalizada



a) Sin normalizar

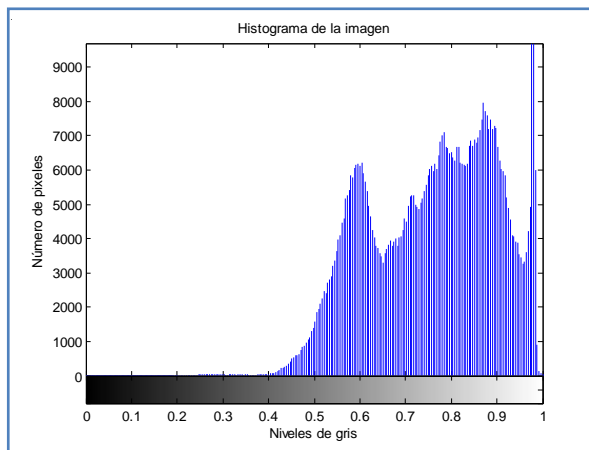
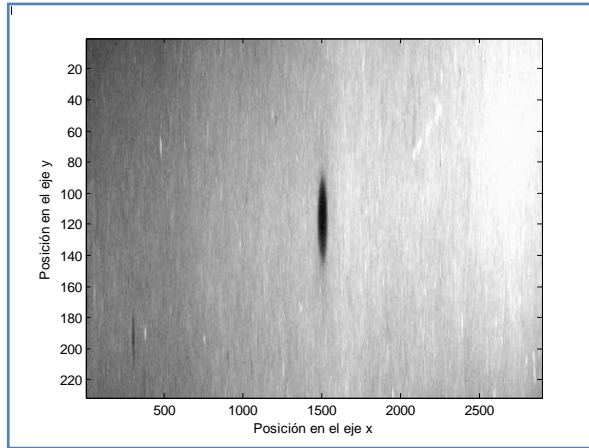


b) Normalizada

El histograma de la imagen sin normalizar y normalizada es igual, solo cambian los valores para el eje horizontal.

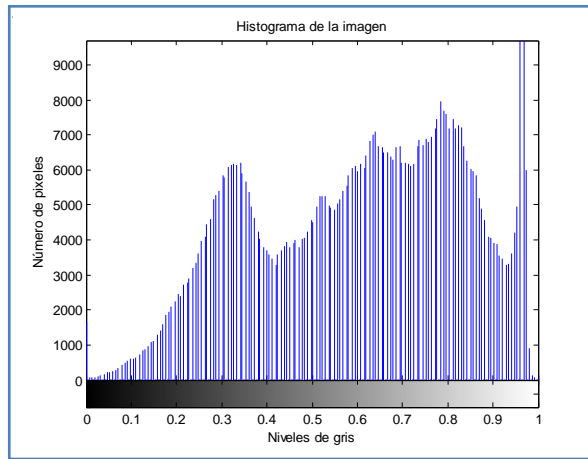
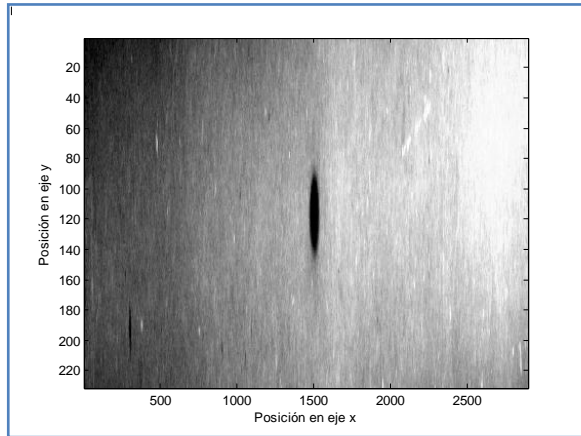
- Modificación del histograma para aumentar el contraste. Para esta aplicación se cortó la imagen trabajando la parte que contiene el defecto Ver figura 7.

Figura 7. Modificación del histograma para el poro. a) Imagen cortada; b) Histograma de la imagen cortada; c) Imagen modificada; d) Histograma modificado



a) Imagen cortada

b) Histograma de la imagen cortada

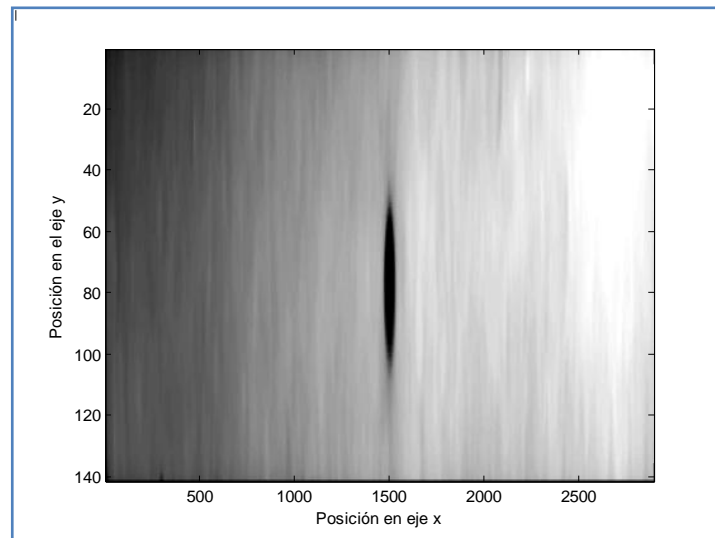


c) Imagen modificada

d) Histograma modificado

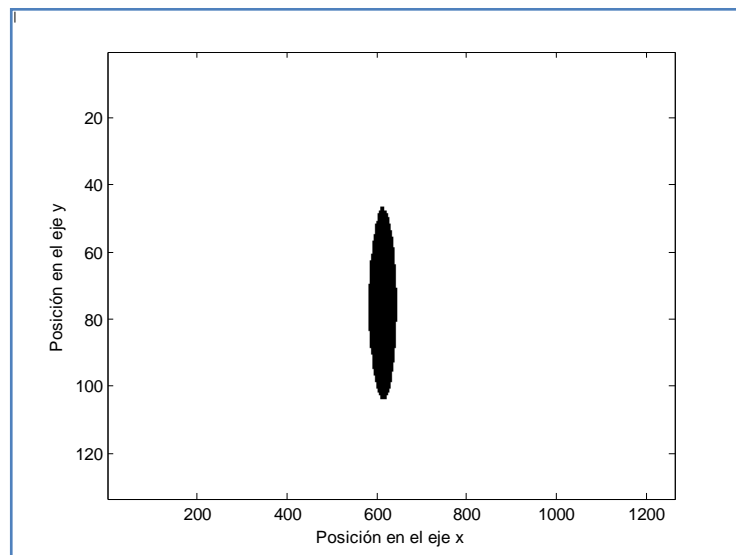
- Aplicación del filtro mediano, con el fin de reducir el ruido. Ver figura 8.

Figura 8. Aplicación del filtro mediano para el poro



- Finalmente se aplicó un umbral de binarización, dicho cambio se muestra en la figura 9.

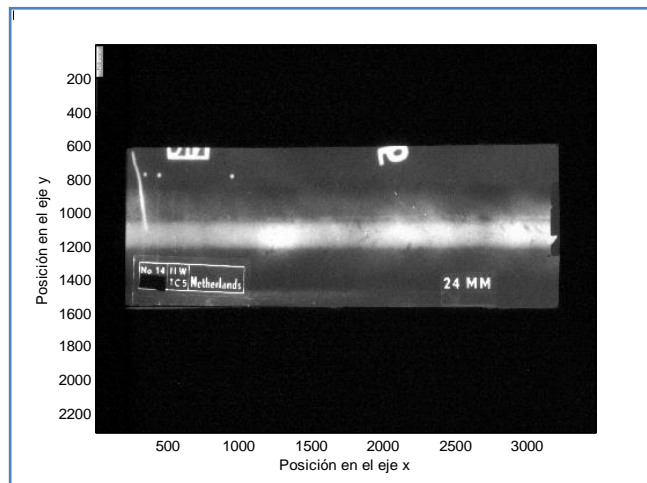
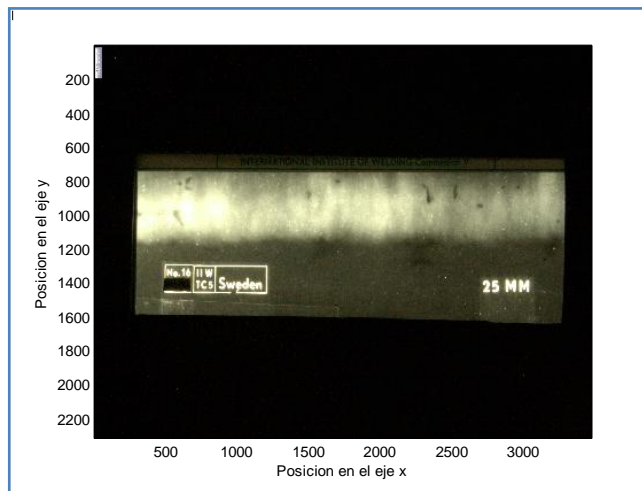
Figura 9. Imagen binaria para el poro



3.3.1.2 Proceso seguido para la detección de los poros vermiculares y las inclusiones de escoria. Estas radiografías presentan varios defectos del mismo tipo, Ver figura10, por tanto fue necesario realizar el tratamiento uno a uno.

Figura 10. Radiografías que presentan varios defectos del mismo tipo

a) Porosidad vermicular; b) Inclusiones de escoria



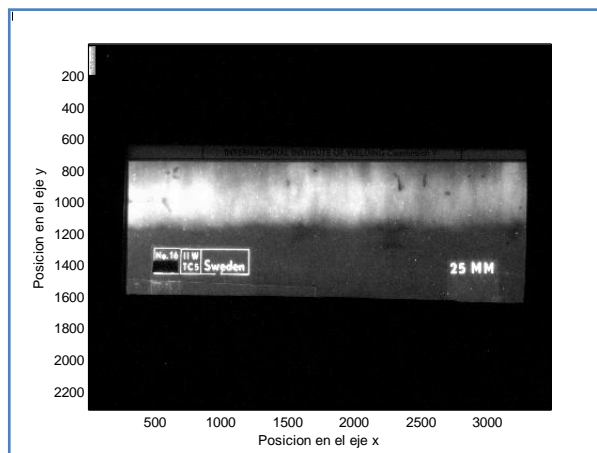
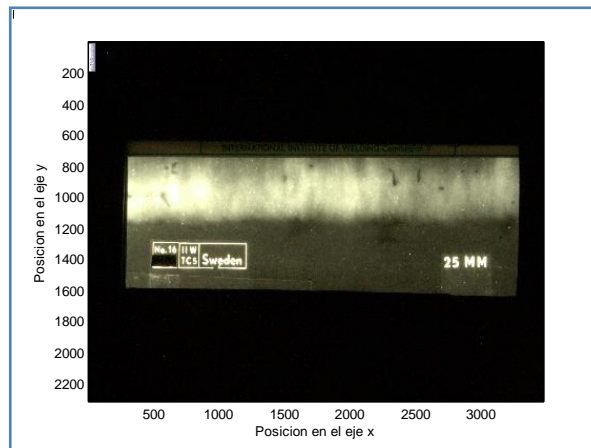
a) Porosidad vermicular

b) Inclusiones de escoria

A continuación se describe el tratamiento realizado para una inclusión de escoria.

- Conversión de de la imagen en mapa de colores a escala de grises. En la figura 11 se encuentran presentes las dos imágenes.

Figura 11. Imagen digital de las inclusiones de escoria. a) En mapa de colores; b) En escala de grises

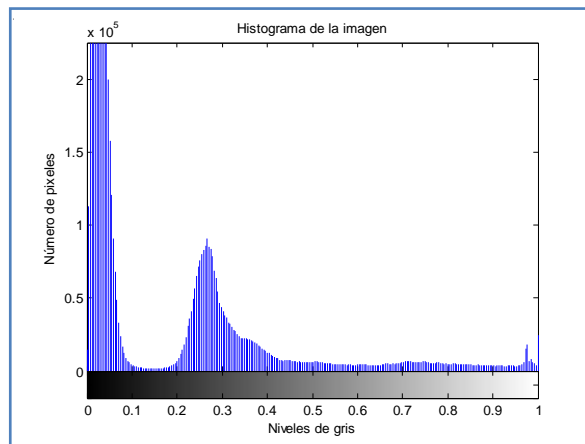
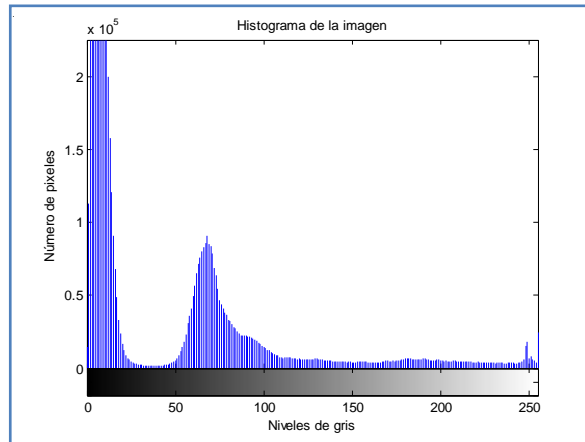


a) En mapa de colores

b) En escala de grises

- Normalización de la imagen. Para visualizar este cambio es necesario mostrar el histograma de la imagen sin normalizar y normalizada. Ver figura 12.

Figura 12. Histograma de las inclusiones de escoria. a) Sin normalizar; b) Normalizada

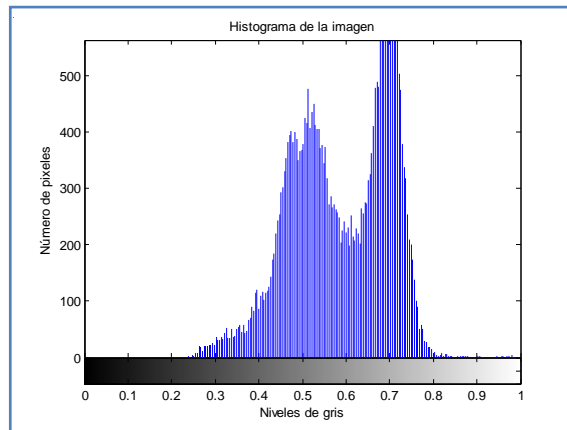
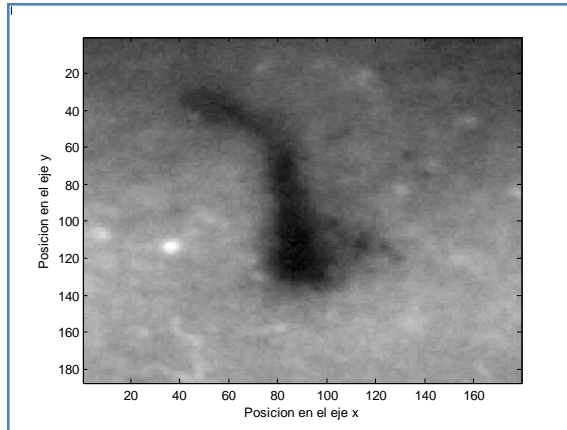


a) Sin normalizar

b) Normalizada

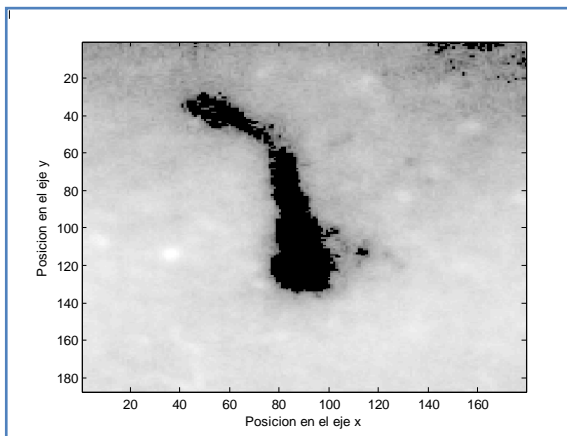
- Modificación del histograma. Para esta aplicación se cortó la imagen seleccionando un defecto Ver figura 13.

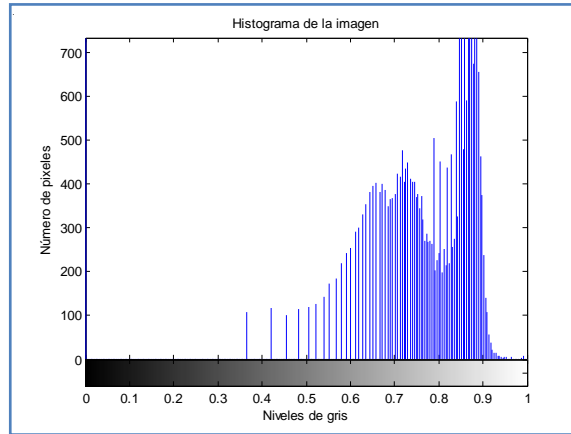
Figura 13. Modificación del histograma para una inclusión de escoria. a) Imagen cortada; b) Histograma de la imagen cortada; c) Imagen modificada; d) Histograma modificado



a) Imagen cortada

b) Histograma de la imagen cortada



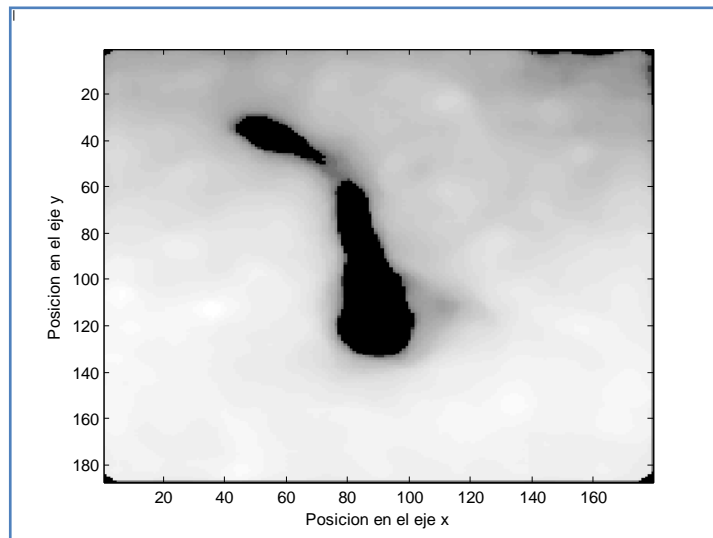


c) Imagen modificada

d) Histograma modificado

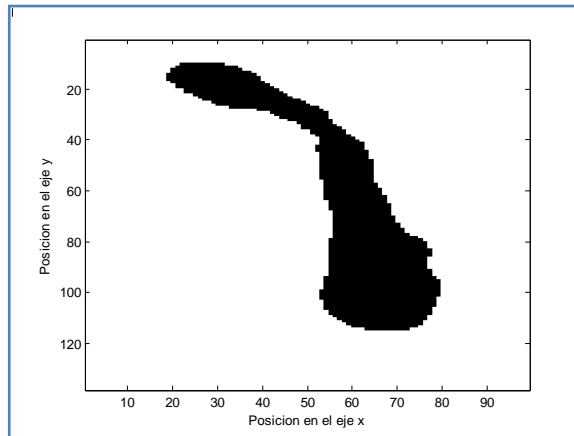
- Aplicación del filtro mediano. Ver figura 14.

Figura 14. Aplicación del filtro mediano para una inclusión de escoria



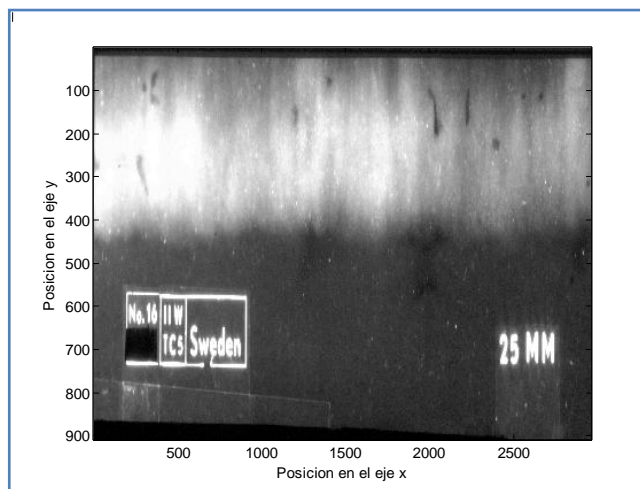
- Se realizó la conversión de la imagen en escala de grises a binaria. Ver figura 15.

Figura 15. Imagen binaria para una inclusión de escoria

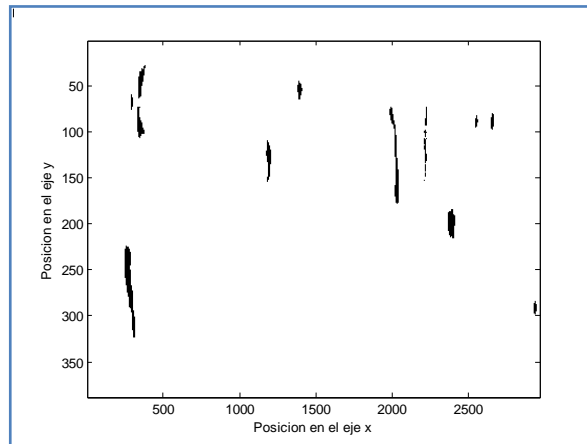


El procedimiento anterior se realizó a cada defecto de la radiografía, fue necesario crear una máscara del mismo tamaño que la imagen original y ubicar los defectos tratados en sus posiciones iniciales. Ver figura 16.

Figura 16. Imagen de las inclusiones de escoria. a) Sin tratamiento; b) Con tratamiento



a) Sin tratamiento



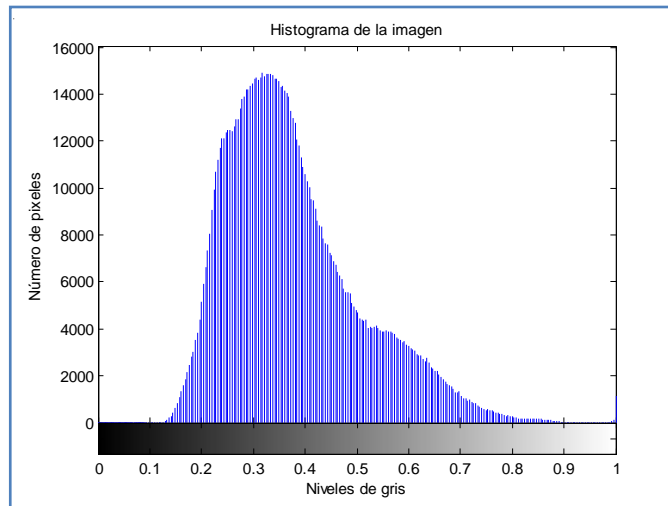
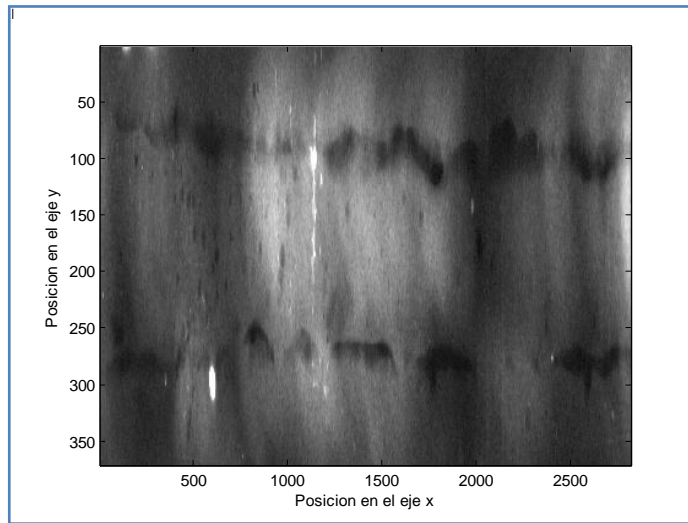
b) Con tratamiento

Para los poros vermiculares se aplicó el mismo procedimiento descrito anteriormente.

3.3.1.3 Proceso seguido para la detección de la socavadura, falta de fusión, escoria alineada y grieta transversal. El tratamiento aplicado para estos defectos fue similar a los anteriores, se hizo una conversión de la imagen en color verdadero a escala de grises, su respectiva normalización, modificación del histograma y aplicación de un filtro mediana; con la diferencia que fue necesaria hacer una especificación poligonal de la región de interés. Para mostrar los pasos anteriores se tomará como ejemplo el tratamiento para la escoria alineada, iniciando de la modificación del histograma.

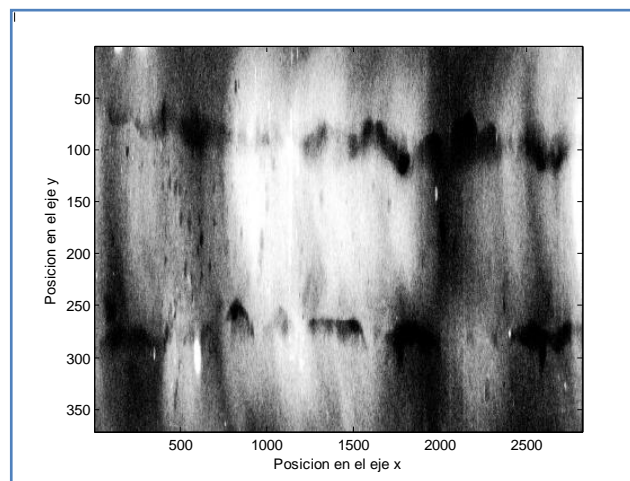
- Modificación del histograma para la escoria alineada. Ver figura 17.

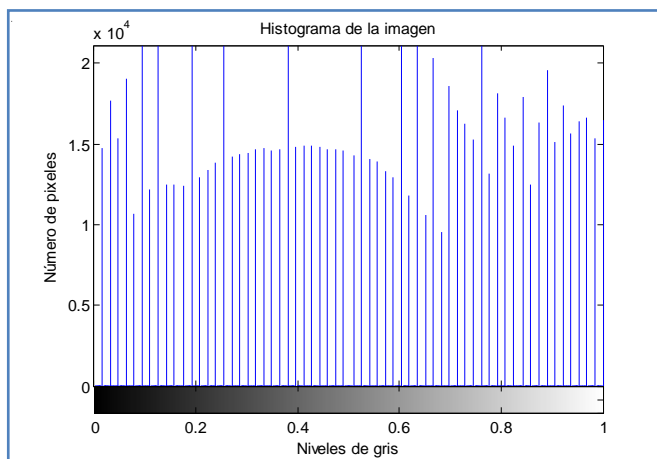
Figura 17. Modificación del histograma para la inclusión escoria alineada. a) Imagen cortada; b) Histograma de la imagen cortada; c) Imagen modificada; d) Histograma modificado



a) Imagen cortada

b) Histograma de la imagen cortada



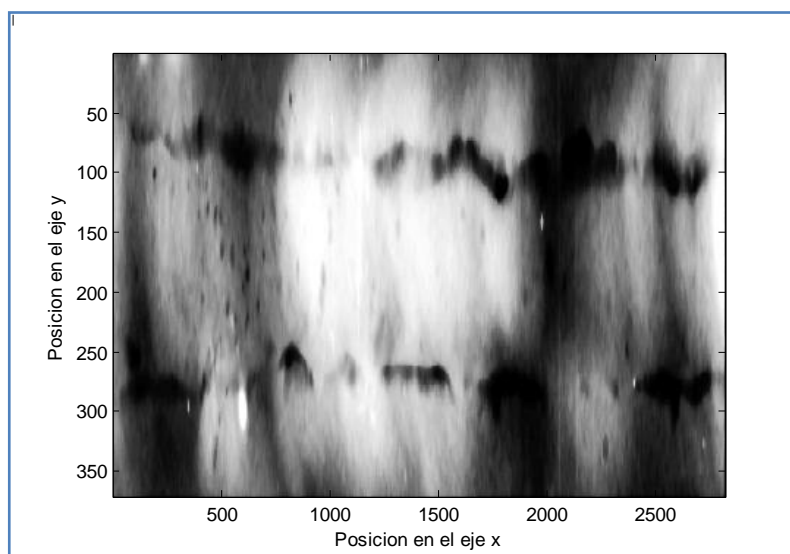


c) Imagen modificada

d) Histograma modificado

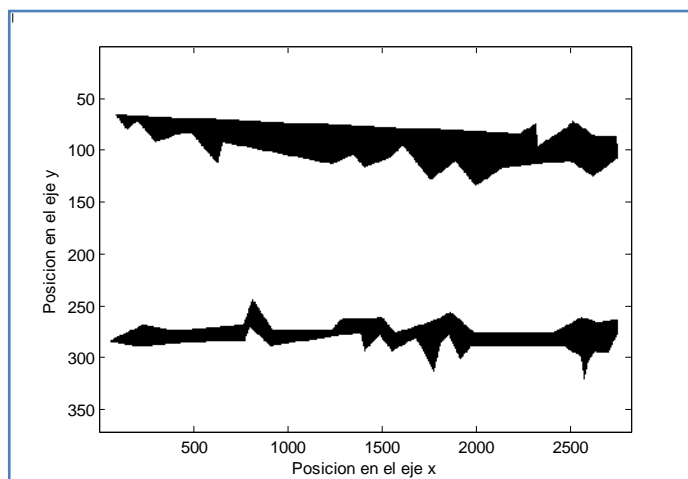
- Aplicación del filtro mediano. Ver figura 18.

Figura 18. Aplicación del filtro mediano a la falta de fusión



- Especificación de la región de interés dentro de la imagen, para segmentarla. Ver figura 19

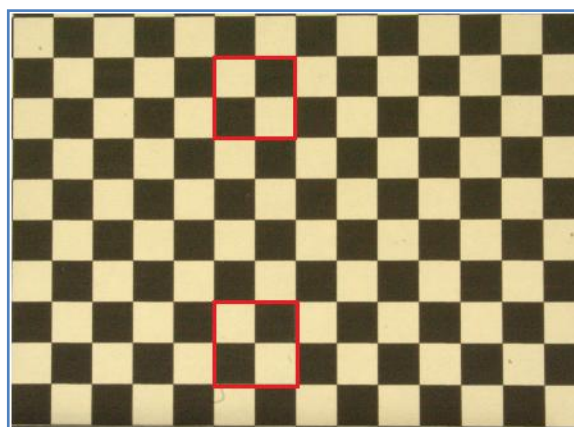
Figura 19. Especificación de la región de interés



3.3.2 Factor de conversión de un pixel cuadrado a un centímetro cuadrado.

Al extraer las características del defecto como área y perímetro, estos valores se presentan en pixeles. Por tanto fue necesario hallar el factor de conversión de pixeles a una unidad de longitud del mundo real. Así pues, se tomó una fotografía a una cuadrícula con la misma distancia de trabajo (57 cm). La figura 20 muestra la imagen de una cuadrícula de 1cm x 1 cm de lado con la cual se halló la relación de un pixel cuadrado y un centímetro cuadrado [15].

Figura 20. Cuadrícula tomada para hallar la relación entre un pixel cuadrado y un centímetro cuadrado



Fuente los autores

Para lo anterior se contó el número de pixeles presentes en dos cuadros horizontales y dos verticales situados en dos posiciones de la cuadrícula, una en

la parte superior y otra en la inferior. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 6, a partir de estos datos se hizo el promedio de pixeles presentes en los dos cuadros consecutivos.

Cuadro 6. Medidas para hallar el factor de conversión de un pixel cuadrado y un centímetro cuadrado

DATOS	NÚMERO DE PIXELES HORIZONTALES	NUMERO DE PIXELES VERTICALES
TOMA 1	415	412
TOMA 2	416	422
PROMEDIO	415.5	417.5

Fuente los autores

Con los datos encontrados se realizó el cálculo para hallar la relación entre un $pixel^2$ y un cm^2 , como muestra la ecuación 1.

$$1 \text{ pixel}^2 \frac{4 \text{ cm}^2}{(415.5 \text{ pixel})(417.5 \text{ pixel})} = 2.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \quad (1)$$

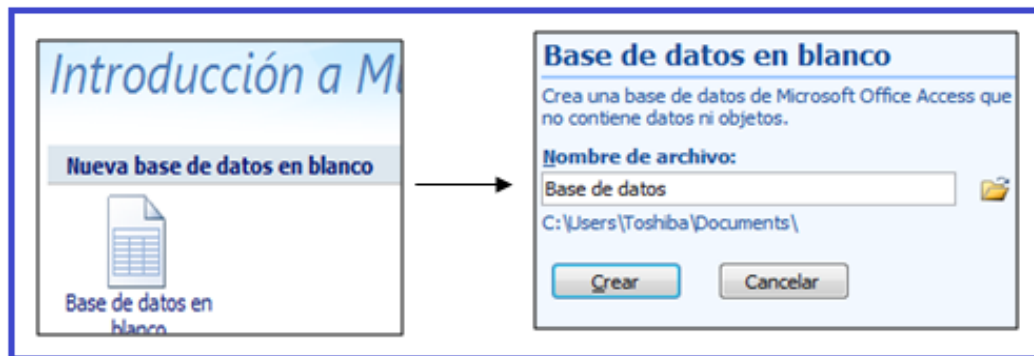
Por último se halló la relación de longitud con la ecuación 2.

$$1 \text{ pixel} = \sqrt{2.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2} = 0.0048 \text{ cm} \quad (2)$$

3.3.3 Creación de la base de datos en Microsoft Access. Teniendo en cuenta las diferentes formas y modelos de organización que tiene un computador para almacenar la información, se escogió el modelo relacional para la creación de la base de datos. En la base de datos almacenamos toda la información necesaria para la realización del sistema de información.

- Al ingresar a Microsoft Access se nombro la base de datos en blanco.

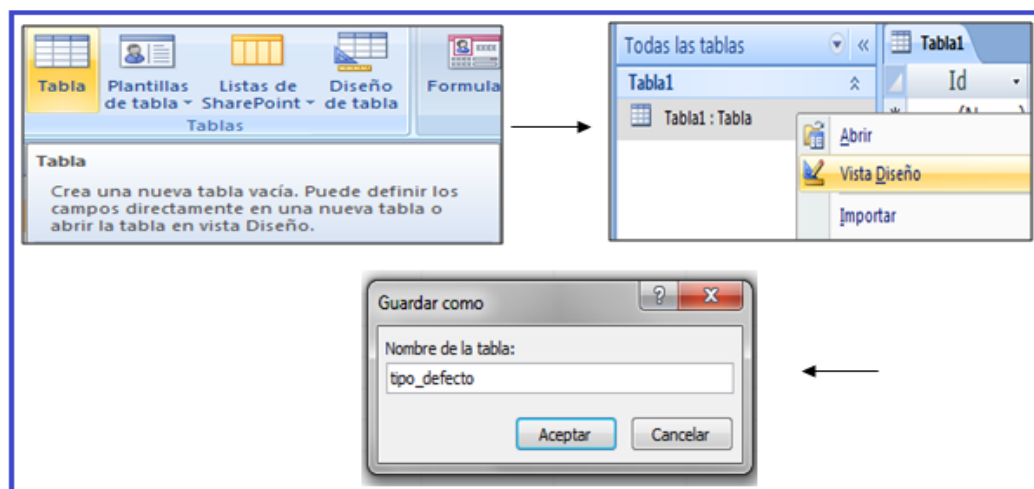
Figura 21. Creación de la base de datos en blanco



Fuente: Los Autores

- Posteriormente se creó la primera tabla (se muestra en la figura 22).

Figura 22. Creación de tabla tipo_defecto.



Fuente: Los autores

1. En el primer campo se le suministró el código a cada defecto a trabajar, y en el segundo su nombre. Los nombres dados fueron los siguientes:
 - Esc001: Escoria.
 - Faf001: Falta de fusión.
 - Gri001: Grietas.
 - Pei001: Penetración incompleta.
 - Por001: Porosidad.

- Soc001: Socavaduras.

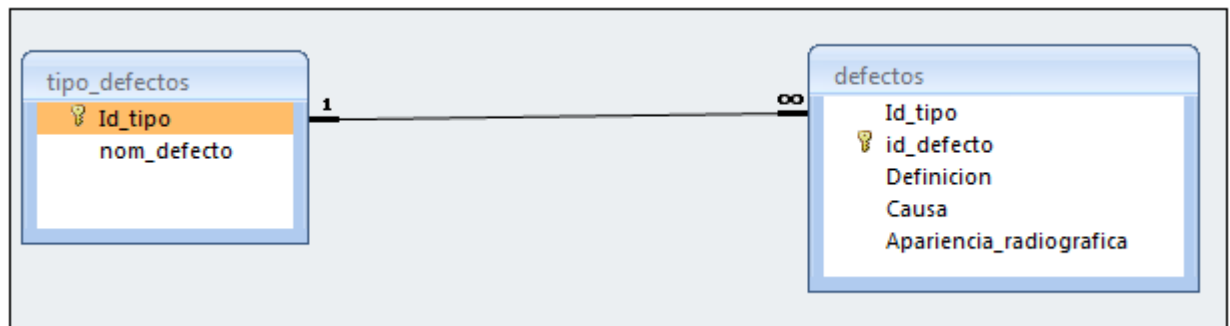
Figura 23. Elaboración de los campos en la tabla tipo_defecto

Id_tipo	nom_defecto
esc001	escoria
faf001	falta de fusion
gri001	grietas
pei001	penetracion incompleta
por001	porosidad
soc001	socavadura

Fuente: Los autores

- Las tablas elaboradas presentan una relación de uno a muchos.

Figura 24. Relaciones entre las tablas de Microsoft Access

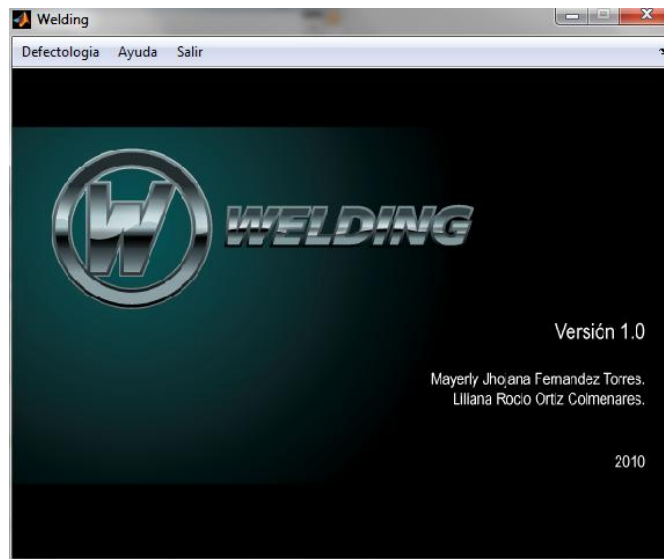


Fuente: Los autores

3.3.4 Creación de las Interfaces gráficas de Usuario

- La realización de las interfaces de usuario se inició con la creación del menú principal en donde se encuentran las opciones: defectología, ayuda, salir. Ver figura 25.

Figura 25. Pantalla Menú



Fuente los autores

- Para visualizar los defectos presentes se debe ingresar en la opción defectología, para ello fue necesario crear nueve interfaces de usuario con las siguientes opciones: tratamiento, características, menú, salir. Ver figura 26.

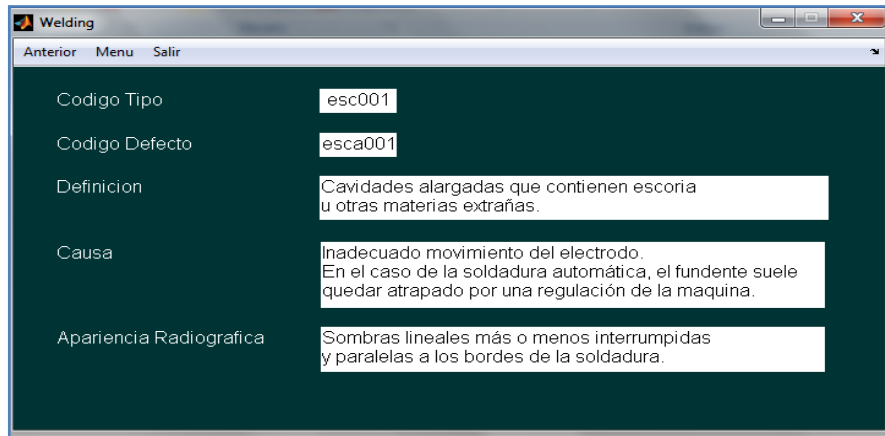
Figura 26. Opciones en la interfaz gráfica de un defecto



Fuente los autores

- Se creó una segunda interfaz de usuario, una para cada defecto en donde se muestra información acerca del mismo (definición, causa y apariencia).

Figura 27. Interfaz de las características



Fuente los autores

Para obtener más información ver anexo B.

Para un buen funcionamiento entre Microsoft Access y las interfaces gráficas de usuario es necesario realizar la respectiva conexión, ver anexo C.

3.4 FASE 4: REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE DESEMPEÑO

Se verificó que los datos obtenidos de las dimensiones de cada defecto se aproximen a los valores reales, para ello fue necesario tomar medidas a los defectos presentes a las radiografías sin digitalizar y compararlos con los suministrados por el sistema de información. Estos datos se muestran en el cuadro 7.

Cuadro 7. Comparación de las medidas obtenidas con el sistema de información y las radiografías sin digitalizar

DEFECTO	DIMENSIONES EN LA RADIOGRAFÍA		DIMENSIONES EN EL SISTEMA	
	Longitud (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Altura (cm)
Falta de fusión	11.9	0.15	11.8	0.08
Penetración incompleta	14.65	0.4	13.4	0.26
Socavadura	14.5	0.2	13.5	0.29
Grieta transversal	1.3	1.0	0.9	1.3
Grieta longitudinal	6.8	0.15	5.6	0.079
Escoria alineada	14.4	0.2	13.5	0.29

Fuente los autores

Se hallará un porcentaje de error de cada altura y longitud del defecto como muestra la ecuación 3.

% error por defecto

$$= \frac{\text{Dimensión en la radiografía} - \text{Dimensión del sistema}}{\text{Dimensión en la radiografía}} * 100 \quad (3)$$

Después de hallar cada medida se calcula un error por dimensión. Ver ecuación 4.

$$\% \text{ error Alturas} = \frac{46.67 + 35 + 38 + 30 + 47.3 + 45}{6} = 40.33 \% \quad (4)$$

$$\% \text{ error longitudes} = \frac{0.84 + 6.89 + 30.77 + 17.65 + 6.25}{6} = 11.82\% \quad (5)$$

Para el poro es necesario comparar el diámetro obtenido con el sistema de información y el encontrado en la radiografía sin digitalizar.

- Diámetro obtenido con el sistema de información= 0.28 cm.
- Diámetro medido en la radiografía = 0.3 cm.

Por tanto el sistema de información presenta un porcentaje de error en alturas de 40.33%, en longitudes de 11.82%, y en el diámetro del poro de 6.67%. Este es experimental ya que las medidas tomadas a las radiografías se realizaron de forma manual.

Sin embargo debido a la morfología de los defectos poros vermiculares (forma de bastones) e inclusiones de escoria (amorfos), no se puede hablar de un porcentaje de error para ellos.

3.5 FASE 5: IMPLANTACIÓN O PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA EN MANTENIMIENTO

Después de la realización de las pruebas de desempeño, es importante verificar si el sistema funciona con otras radiografías digitalizadas con el fin de analizar si es necesario algún ajuste.

Al realizar estas pruebas, se pudo comprobar que es necesario hacer ajustes si se desea ampliar el número de radiografías existentes en el sistema, debido a que los parámetros usados son muy específicos para las 9 radiografías.

3.6 FASE 6: REALIZACIÓN DEL INFORME FINAL

Se realizó el respectivo informe al finalizar las fases anteriores.

CONCLUSIONES

- En este trabajo se diseñó e implementó un sistema de información, el cual permite la capacitación y entrenamiento del usuario, en la identificación y caracterización de defectología generada en el proceso de soldadura. Para la elaboración del sistema fue necesario el uso de los programas Microsoft Access y MATLAB, para el reconocimiento y dimensionamiento de nueve (9) defectos típicos presentes en un cordón de soldadura.
- Para la elaboración del software fue necesaria la digitalización de radiografías patrón pertenecientes al IIW (International Institute of Welding), seguido de un tratamiento digital con el fin de poder extraer la información de los defectos para su posterior clasificación.
- En el tratamiento digital realizado, la segmentación llevada a cabo para algunas de las imágenes consistió en la demarcación sobre la misma, de un polígono que encierra y aísla la región de interés, ya que al aplicar una binarización sobre la imagen, el objeto de estudio perdía su forma.
- Debido a similitud geométrica presentada por la mayoría de los defectos tratados, fue necesario establecer criterios de clasificación muy específicos para el set de radiografías analizado.
- En la validación de resultados se pudo comprobar que se presenta mayor dificultad medir dimensiones de altura que de longitudes, debido a que los porcentajes de error fueron más altos. Esto puede deberse a la metodología del polígono demarcado utilizado en el tratamiento de la imagen, el cual puede modificar el tamaño del área seleccionada. Siendo más notorio el error en dimensiones pequeñas.

- El sistema de información es una herramienta que ayuda a visualizar la morfología y dimensiones de los diferentes tipos de defectos, también es una ayuda para aquellas personas que deseen ampliar su conocimiento en este campo.
- La base de datos relacional creada en esta investigación, es una facilidad que permitirá el ingreso de nueva información, ampliando el número y variedad de defectos a evaluar en la soldadura

RECOMENDACIONES

- Para la captura de las imágenes digitales se recomienda mantener constante la distancia entre la cámara y el objeto con el fin de ajustar y mantener el tamaño de la imagen obtenida. Adicionalmente identificar un equipo idóneo y dejarlo para uso dedicado a este proceso, además de establecer el algoritmo para el control del tiempo de exposición teniendo en cuenta el grado de ennegrecimiento de la película radiográfica.
- Se recomienda explorar otras metodologías de tratamiento de imagen con el fin de disminuir el porcentaje de error en el dimensionamiento de los defectos.
- El sistema de información se realizó teniendo en cuenta el avance tecnológico en el que se encuentra hoy día. Es el comienzo de un trabajo que presenta proyecciones hacia el futuro, por esto se recomienda continuar con la digitalización de radiografías, hacer su respectivo tratamiento para el desarrollo y perfeccionamiento del software y así facilitar la capacitación y entrenamiento del personal interesada en el campo de la radiografía industrial.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MELENDREZ. Córdoba. Germán. Inspección Radiográfica de Soldadura Asociación Colombiana de Soldadura. Tunja Marzo de 2001. Pág. 14-15.
- [2] Base Defectológica de Soldaduras Evaluacion, Caracterizacion e Interpretacion Radiografica de Soldaduras en Materiales Metálicos < disponible en <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/283/1/pfc2625.pdf>> visitado en Noviembre de 2009.
- [3] Ensayos No Destructivos: inspección de soldaduras con radiografía. < Disponible en: webpages.ull.es/users/mhdez/Practicas/SOLDADURA.pdf> Visitado en diciembre de 2009.
- [4] Ensayos No Destructivos (END) - Nondestructive Testing (NDT) <disponible en http://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo_06.pdf> visitado en Diciembre de 2009.
- [5] Automatic inspection of gas pipeline welding defects using an expert vision system. 15 de Octubre de 2003.
- [6] American Society for Testing and Materials. Storage of Radiographs and Unexposed Industrial Radiographic Films1. ASTM E 1254 – 08 Julio 2008.
- [7] American Society for Testing and Materials. Radiographic Examination. ASTM E 94-04 Febrero de 2004.
- [8] TORRES, M; TORRES B; MONTAÑEZ. Nelson, Miguel y Juan J. Radiografía Industrial X y Gamma. INSTITUTO DE ASUNTOS NUCLEARES APLICACIONES INDUSTRIALES Y METALURGIA. Pág. 2-5.
- [9] International Institute of Welding. Commission V. Sweden 1961.
- [10] GOMEZ MORENO. Orlando José. Soldadura de Metales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 1993. Pág. 160-168.
- [11] ECHEVARRIA. Ricardo Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ingeniería. Laboratorio de Ensayos No destructivos. Defectología. < Disponible en: fain.uncoma.edu.ar/materias/...Defectologia/Defectologia.pdf>. Visitado en Noviembre de 2009.

- [12] SÁNCHEZ. Navarro, José Daniel, CARBONELL A. Inés. Microsoft Access 2002 Iniciación y referencia. McGraw-Hill. 2001. Pág. 4-6,12 7-9.
- [13] GONZALEZ. Rafael C. Digital Image Processing Second Edition. Prentice Hall. United States of America 2002.
- [14] Fundamentos de Procesamiento de Imágenes < Disponible en <http://fcqi.tij.uabc.mx/docentes/esqueda/cursaimagenes.pdf>> Visitado en Octubre de 2010.
- [15] GOMEZ. Tejada. Daniel Alexis. Dispositivo Óptico para la Reconstrucción Tridimensional de la Piel Humana por el Método de Proyección de Franjas. Trabajo de grado [Ingeniero Físico]. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. pág. 65. 2009.
- [16] *PRESSMAN. Roger, S. Ingeniería Del software un enfoque practico. Cuarta edicion. Mc Graw Hill. España 1998.*

ANEXOS

Anexo A. El modelo en cascada

El modelo en cascada sugiere un enfoque sistemático, secuencial del desarrollo del software que comienza en un nivel de sistemas y progresa con el análisis, diseño, codificación, pruebas y mantenimiento. Modelado según el ciclo de ingeniería convencional, el modelo en cascada acompaña a las actividades siguientes:

I) Ingeniería y modelado de sistemas/información

Como el software siempre forma parte de un sistema más grande (o empresa), el trabajo comienza estableciendo requisitos de todos los elementos del sistema y asignando al software algún subgrupo de estos requisitos.

II) Análisis de los requisitos del software

Para comprender la naturaleza de los programas a construirse, el ingeniero (“analista”) del software debe comprender el dominio de información del software, así como la función requerida, comportamiento, rendimiento, e interconexión.

III) Diseño

El diseño del software es realmente un proceso de muchos pasos que se centra en cuatro atributos distintos de un programa: estructura de datos, arquitectura del software, representaciones de interfaz y detalle procedimental (algoritmo). El proceso de diseño traduce requisitos en una representación del software que se puede evaluar por calidad antes de que comience la generación del código.

IV) Generación de código

El diseño se debe traducir en una forma legible por la máquina. El paso de generación de código lleva a cabo esta tarea.

V) Pruebas

Una vez que se ha generado un código, comienzan las pruebas del programa. El proceso de pruebas se centra en los procesos lógicos internos del software, asegurando que todas las sentencias se han comprobado, y en los procesos externos funcionales, es decir, la realización de las pruebas para la detección de errores y el sentirse seguro de que la entrada definida produzca resultados reales de acuerdo con los resultados requeridos.

VI) Mantenimiento

Se producirán cambios porque se han encontrado errores, porque el software debe adaptarse para acoplarse a los cambios de su entorno externo, o porque el cliente requiere mejoras funcionales o de rendimiento. El mantenimiento vuelve a aplicar cada una de las fases precedentes a un programa ya existente y no a uno nuevo.

El modelo en cascada es el paradigma más antiguo y más extensamente utilizado en la ingeniería del software [16].

Anexo B. Manual del usuario

I) Introducción

El sistema de información muestra las nueve radiografías digitalizadas antes y después de un tratamiento de imágenes resaltando la información existente en patrones radiográficos con defectos seleccionados de soldadura en aceros de la colección del Instituto Internacional de Soldadura (IIW).

Es una herramienta que ayuda a visualizar la morfología y dimensiones de los diferentes tipos de defectos seleccionados en cordones de soldadura en aceros. Además brinda información acerca de la definición, causa y apariencia radiográfica de cada uno de los defectos tratados.

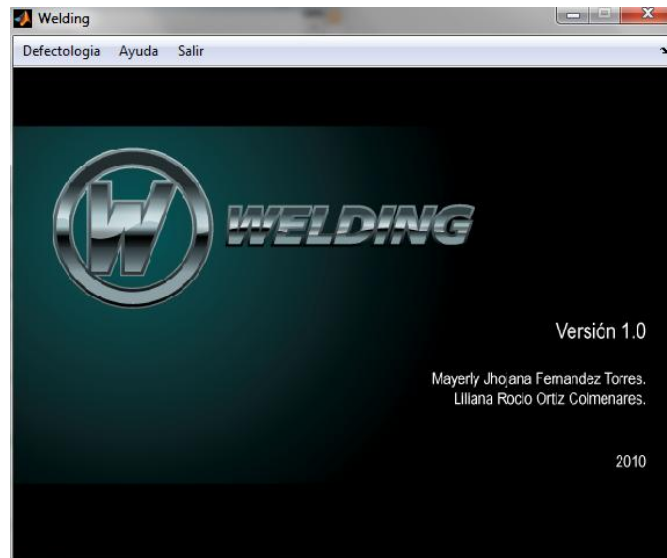
II) Funcionamiento

Para ingresar al sistema se busca el acceso directo.



Esto conduce al menú principal del sistema.

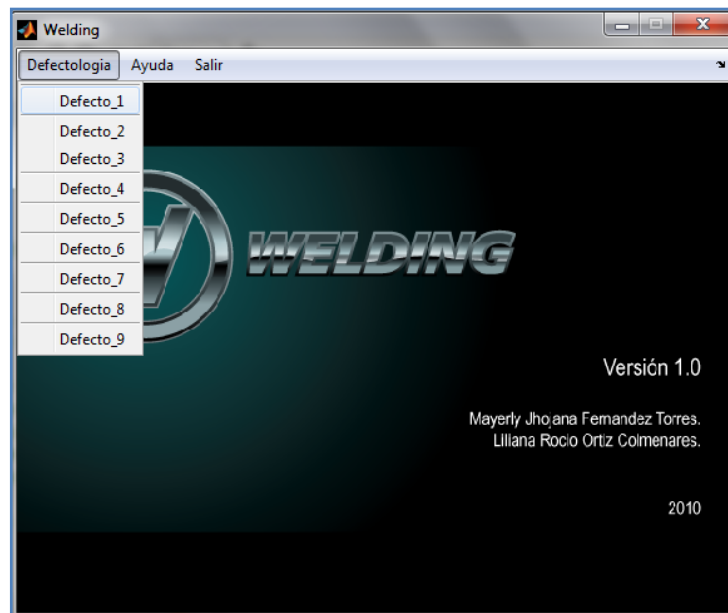
Menú principal



El menú presenta las siguientes opciones:

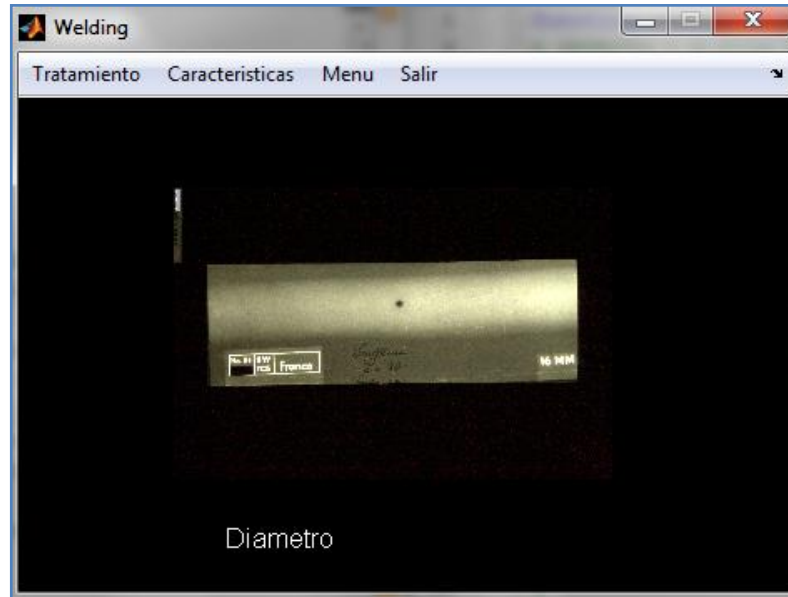
- **Defectologia:** esta opción permite escoger uno de los nueve (9) tipos de defectos tratados.

Selección de una interfaz de usuario



Al seleccionar un defecto se muestra otra interfaz de usuario que presenta una nueva serie de opciones las cuales son:

Interfaz que se muestra al usuario



- **Tratamiento:** realiza el tratamiento a la imagen, para posteriormente mostrar las imágenes con y sin tratamiento.

Imagen sin tratamiento

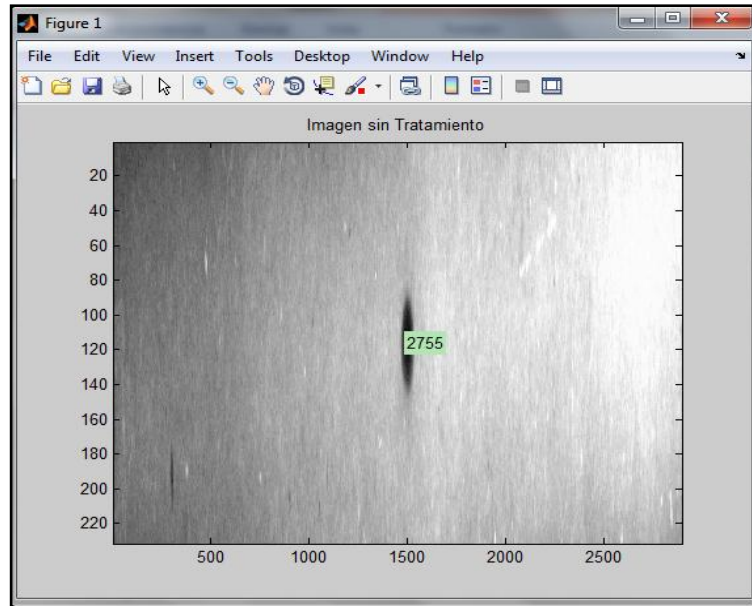
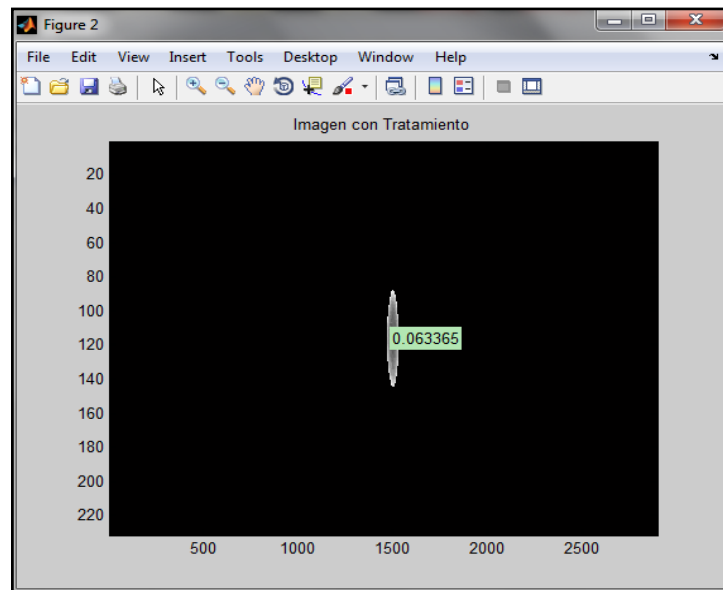
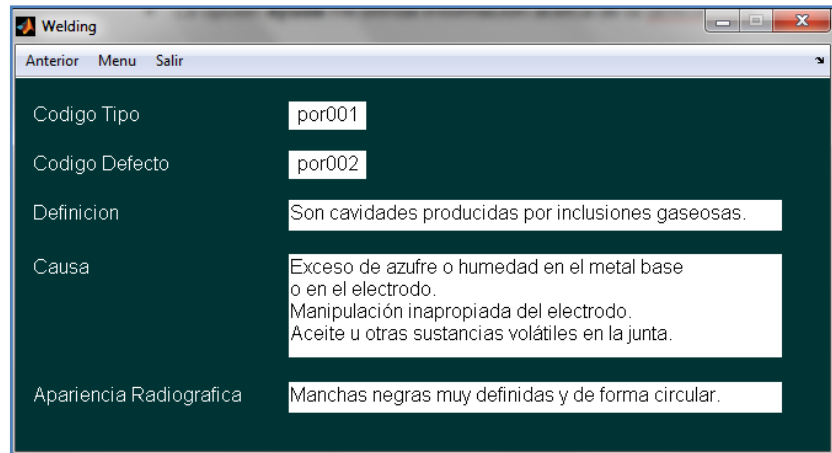


Imagen con tratamiento



- **Características:** muestra una interfaz de usuario la cual tiene información acerca del defecto presente en la imagen.

Características de un defecto

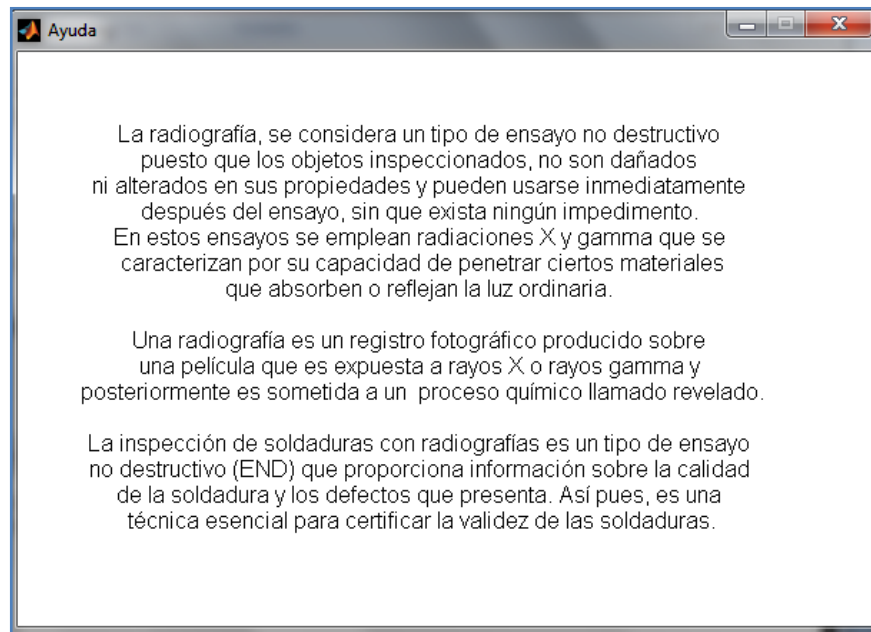


The screenshot shows a window titled "Welding" with a menu bar containing "Anterior", "Menu", and "Salir". The main area displays the following information:

Código Tipo	por001
Código Defecto	por002
Definición	Son cavidades producidas por inclusiones gaseosas.
Causa	Exceso de azufre o humedad en el metal base o en el electrodo. Manipulación inapropiada del electrodo. Aceite u otras sustancias volátiles en la junta.
Apariencia Radiografica	Manchas negras muy definidas y de forma circular.

- **Menú** me da la opción de regresar al menú principal.
- **Salir** cierra la pantalla del defecto 1.
- La opción **ayuda** me brinda información acerca de la defectología.

Opción ayuda



- La opción **salir** me permite abandonar el sistema.

ALCANCES Y LIMITACIONES

El sistema de información permitirá clasificar los defectos seleccionados de soldadura presentes en las radiografías digitalizadas que se muestran en las tablas no obstante para otras no lo puede hacer ya que el criterio de clasificación fue muy específico para ese set de fotos.

Anexo C. Manual de operación

I) Requerimientos del sistema

El sistema funcionará correctamente con las siguientes características:

1. Software

- ♦ Servidor de Bases de datos: Microsoft Access 2003 - 2007
- ♦ Herramienta de desarrollo: Matlab 7.0
- ♦ Sistema Operativo del servidor: Microsoft Windows XP Servi Pack 2 o Microsoft Windows 7.

2. Hardware

- ♦ Procesador Intel Pentium o Core Duo
- ♦ Disco duro de 80 Gigabytes.
- ♦ Memória RAM de 1 Gigabytes.

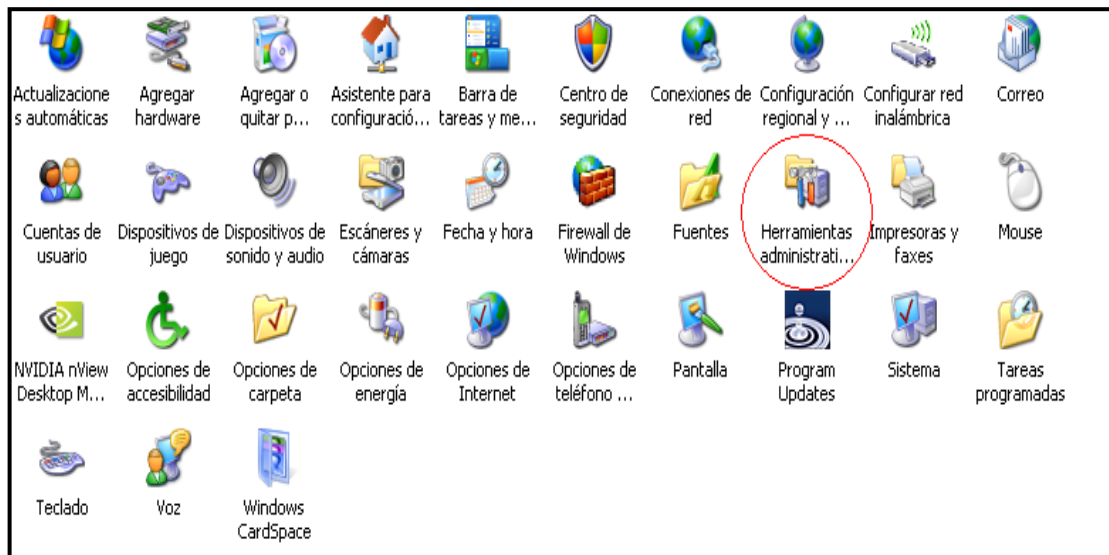
Es necesario para el correcto funcionamiento del sistema instalar los programas Access y MATLAB en el computador y hacer la respectiva conexión.

II) Conexión de Microsoft Access con las interfaces gráficas de usuario

Después de creada la base de datos se realizó la conexión y se llevó a cabo como se muestra a continuación:

- Del menú Panel de Control de escoge la opción herramientas administrativas ver figura.

Selección de Herramientas Administrativas en la ventana de comandos



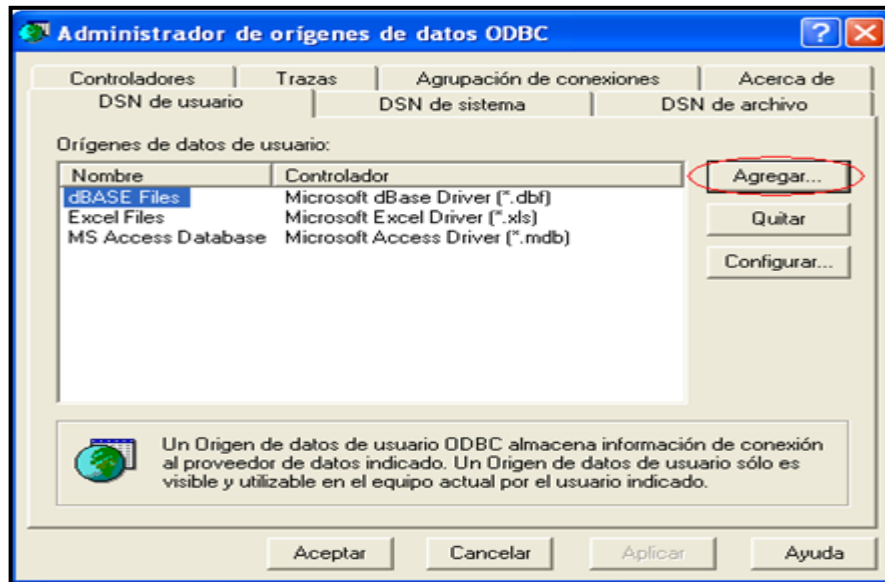
- De las opciones que muestra escoger Orígenes de Datos (ODBC).

Selección de Orígenes de Datos (ODBC)



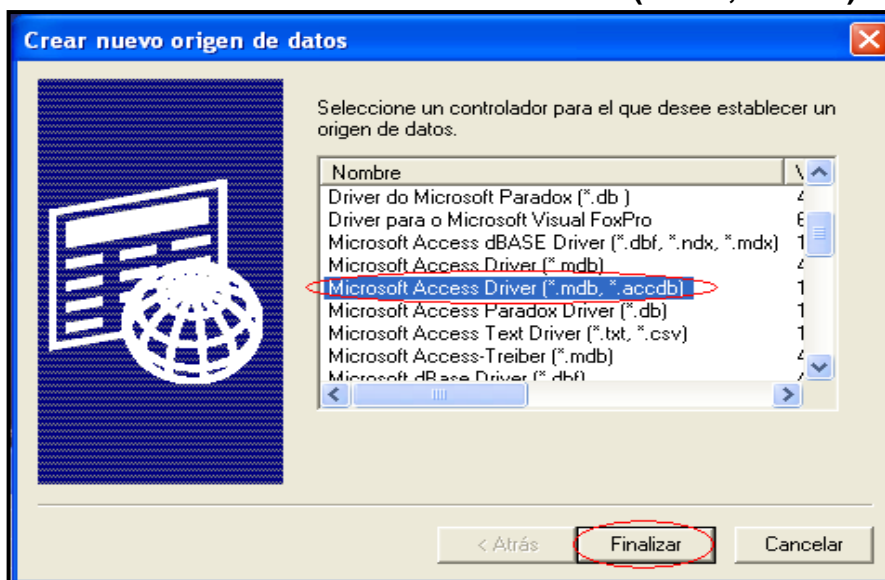
- Se crea un nuevo origen de datos.

Creación de un nuevo Origen de Datos



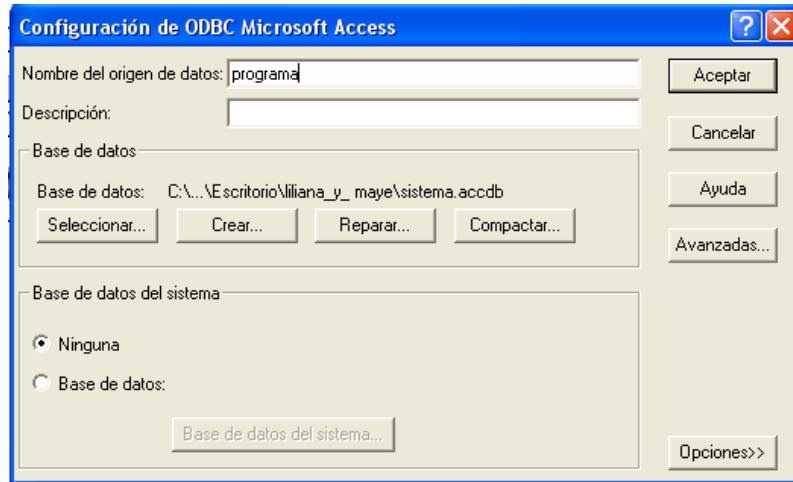
- De las opciones que muestra escoger Microsoft Access Driver (*.mdb,.accdb*).

Selección de Microsoft Access Driver (*.mdb,.accdb*)



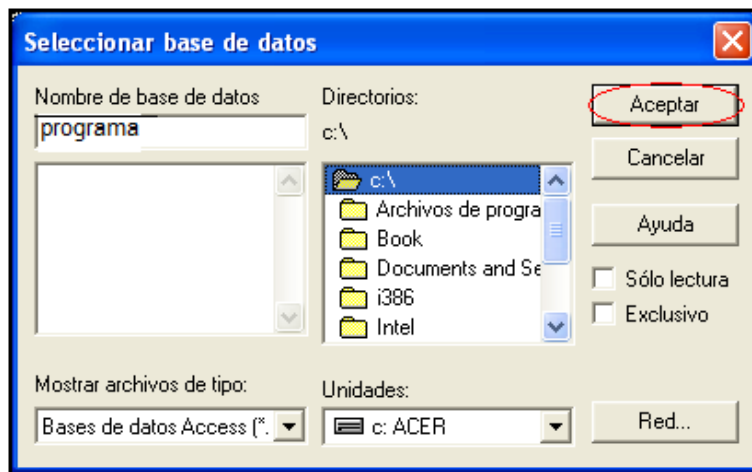
- Al configurar ODBC se le debe dar un nombre al origen de datos el cual es programa.

Configuración de ODBC Microsoft Access



- Se busca la base de datos donde se guardó.

Ubicación de la base de datos en el equipo



En la siguiente figura se observa cómo se creó el origen de datos llamado "programa".

Conexión de la base de datos

