

Sistema de información para el reconocimiento en radiografías de defectos de soldadura en aceros^{*1}

[Information system for radiographic recognition of steel welding defects]

**MAYERLY JHOJANA FERNÁNDEZ TORRES², LILIANA Rocío ORTIZ COLMENARES³
EMIRO MUÑOZ JEREZ⁴, LUZ AMPARO QUINTERO ORTIZ⁵**

RECIBO: 20.02.2011 - AJUSTE: 17.03.2011 - AJUSTE: 23.05.2011 - APROBACIÓN: 30.05.2011

Resumen

La radiografía industrial es un ensayo no destructivo que permite detectar discontinuidades superficiales, sub-superficiales e internas presentes en un material sin alterar o dañar sus propiedades. Este método es uno de los más utilizados actualmente para evaluar la calidad de las estructuras soldadas ya que al mostrar los diferentes tipos de defectos presentes se pueden evitar fallas en el funcionamiento y vida útil de las mismas. Un sistema de información puede ser una herramienta importante para realizar la inspección de las radiografías de soldadura en aceros, con previa digitalización y tratamiento de las imágenes radiográficas, mostrando los diferentes tipos de defectos presentes y facilitando información sobre cada uno de ellos. En el presente trabajo se utilizó la metodología del

* Modelo para citación de este artículo científico
FERNÁNDEZ TORRES, Mayerly Jhojana; ORTIZ COLMENARES, Liliana Rocío; MUÑOZ JEREZ, Emiro y QUINTERO ORTIZ, Luz Amparo (2011). Sistema de información para el reconocimiento en radiografías de defectos de soldadura en aceros. En: Ventana Informática. No. 24 (ene-jun., 2011). Manizales (Colombia): Universidad de Manizales. p. 77-94. ISSN: 0123-9678

- 1 Artículo proveniente del proyecto titulado *Sistema de Información para el reconocimiento en radiografías de defectos de soldadura en aceros*, ejecutado en el periodo sept. 2009 – nov. 2010, e inscrito en el Grupo de Investigación en Desarrollo y Tecnología de Nuevos Materiales (GIMAT), presentado por los dos primeros autores para optar al título de Ingeniera Metalúrgica, con Emiro Muñoz como director y Luz Amparo Quintero como subdirectora.
- 2 Ingeniera Metalúrgica. Correo electrónico: jhojanaf125@hotmail.com
- 3 Ingeniera Metalúrgica. Correo electrónico: ROSSY90210-8@hotmail.com
- 4 Ingeniero de Sistemas. Docente, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Correo electrónico: emiro270273@gmail.com
- 5 MSc Metalurgia. Docente, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Correo electrónico: luzquint@uis.edu.co

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 elaborar un sistema de información basado en patrones radiográficos de defectos seleccionados de soldadura en aceros de la colección del Instituto Internacional de Soldadura (IIW).

Palabras claves: Defectos en soldadura, MATLAB, radiografía industrial, sistema de información, tratamiento digital de imágenes.

Abstract

Industrial radiography is a nondestructive test that allows detecting surface, sub-surface and internal discontinuities present in a material without altering or damaging their properties. This method is one of the most currently used to assess the quality of welded structures as it shows the different kinds of defects that can occurs and due to this, failures in performance, operation and lifetime can be prevented. An information system can be an important tool for the inspection of welded steel radiographs, after scanning and processing radiographic images, being able to show the different kinds of defects present and providing information about each one of them. For this study the methodology of the waterfall model was employed which consists of ordering the steps followed for the development and functioning of the system. MATLAB was used simultaneously as it has a full range of algorithms focused on digital image processing, in this case, radiographic images. Thus, it has been possible to develop an information system based on radiographic patterns of welding steel defects selected from the collection of the International Institute of Welding (IIW).

Keywords: Defects in welding, MATLAB, Industrial radiography, Information system, Digital image processing.

Introducción

La radiografía es uno de los ensayos no destructivos más utilizado industrialmente en la inspección de materiales y piezas, debido a

que en la película radiográfica queda registradas las diferentes regiones de la misma, observándose variaciones en masa, estructura y composición. Dicha variación puede indicar la existencia de una discontinuidad en el material *«Existen grandes ventajas en la aplicación de este ensayo como son un registro permanente en el resultado del examen, se puede aplicar a la mayoría de los materiales, revela la naturaleza interna del material, entre otras»* (Melendrez, 2001, 14).

En la película radiográfica se identifican los diferentes defectos debido a la diferencia de densidades que presenta cada uno en la radiografía, por absorber radiaciones en distintas proporciones que el material del alrededor lo cual genera un cambio de contraste (claro-oscuro), aspectos señalados por Alaknanda (2006, 29).

Por otra parte, existen colecciones radiográficas de referencia las cuales permiten al inspector (persona encargada de análisis radiográfico), poder entrenarse en la identificación de los diferentes defectos. Sin embargo el cansancio, el volumen de trabajo y otros factores pueden impedir que se realice adecuadamente el examen, como lo indica Alaknanda y Pradeep (2006, 30). Además existen otros problemas entre ellos su almacenamiento, el gran volumen de registros y su adecuada conservación, con el fin de evitar su daño por la formación de hongos. Por lo anterior, es necesario adecuar un recinto con condiciones especiales, entre ellas de humedad, debido a que estudios realizados han demostrado que *«porcentajes superiores al intervalo entre el 30 y el 60%»* (ASTM E 1254, 2008, 2) favorecen la aparición de estos microorganismos.

Adicional a lo anterior, el avance tecnológico crece a pasos agigantados y hace necesario evolucionar constantemente con el fin de cumplir las exigencias del mercado. Como respuesta a esto, sistemas de información se están implementando para brindar ayuda al profesional, ofreciéndole facilidad en la evaluación debido a que las inspecciones se realizan de una forma más efectiva y precisa, como lo expresan algunos investigadores, entre los cuales se encuentran Da Silva et al (2004 y 2005) y Valavanis y Kosmopoulos (2010, 7606).

Otros factores importantes a considerar, son la reducción de costos y la disminución de los largos tiempos de inspección. Por lo tanto en el presente trabajo se busca elaborar un sistema de información que facilite la identificación y visualización de discontinuidades presentes en un cordón de soldadura, como aporte a la capacitación de personal en este campo, mediante el uso de herramientas digitales.

1. Fundamento teórico

1.1 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, como lo indican Valavanis y Kosmopoulos (2010, 7606). En estos ensayos se emplean radiaciones X y gamma que a su vez, constituyen una forma de radiación electromagnética, que se caracteriza por su capacidad de penetrar ciertos materiales que absorben o reflejan la luz ordinaria. 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 se indican valores aceptables de densidad entre 1.5 y 4.0»* (ASTM E 1032, 2006)

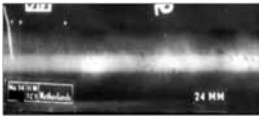
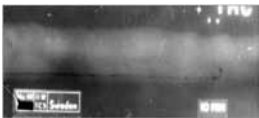
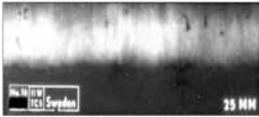
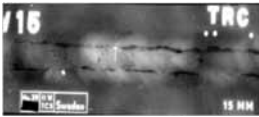
Según la compañía Eastman Kodak (1980, 6), la radiografía genera un registro permanente del ensayo, siendo esta una gran ventaja respecto a otros ensayos no destructivos. Además, los objetos a radiografiar comprenden, en tamaño desde piezas electrónicas, micro miniaturas, hasta enormes componentes de máquinas industriales.

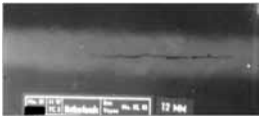
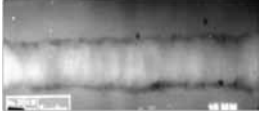
Su uso en la inspección de estructuras soldadas permite la localización y reparación de piezas y componentes evitando daños y accidentes de ahí la gran importancia de su uso, en la evaluación de este proceso.

1.2 Defectos en soldadura

En la tabla 1 se presentan nueve defectos típicos que se encuentran en los cordones de soldadura en aceros y algunas de sus principales causas, así como sus características físicas y geométricas, aspectos analizados por Gómez (1993, 160) y Valavanis y Kosmopoulos (2010, 7607), entre otros.

Tabla 1. Defectos de soldadura

Nombre	Definición	Causa	Apariencia radiográfica
Porosidad 	Son cavidades producidas por inclusiones gaseosas.	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.	Manchas negras muy definidas y de forma circular.
Porosidad vermicular 	Cavidades alargadas o tubulares producidas por inclusiones gaseosas.	Al hacer el cambio del electrodo. Contaminación de gases. Flujo de aire.	Manchas oscuras bien definidas de forma alargada a manera de tubitos curvados como bastones.
Falta de fusión 	Defecto en dos dimensiones debido a una falta de unión entre el metal de aporte y el de base.	Utilización de un electrodo demasiado grueso para una apertura estrecha. Manejo incorrecto del electrodo.	Línea oscura delgada con bordes muy definidos. La línea puede tender a ser ondulada y difusa.
Inclusiones de escoria 	Escorias u otras materias extrañas aprisionadas durante la soldadura.	Alta viscosidad del metal de soldadura. Rápida solidificación. Temperatura demasiado baja.	Manchas oscuras de contorno irregular.
Escoria alineada 	Cavidades alargadas que contienen escoria u otras materias extrañas.	Inadecuado movimiento del electrodo. En el caso de la soldadura automática, el fundente suele quedar atrapado por una regulación de la máquina.	Sombras lineales más o menos interrumpidas y paralelas a los bordes de la soldadura.
Penetración incompleta 	Falta de fusión en la raíz de la soldadura o ranura debida a que el metal de aporte no ha rellenado la raíz.	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.	Línea oscura, continua o intermitente en el centro del cordón de soldadura.

Nombre	Definición	Causa	Apariencia radiográfica
Grietas transversales 	Discontinuidades producidas por roturas en el metal.	Una junta demasiado rígida. Enfriamiento rápido de materiales templeables y frágiles.	Líneas finas oscuras, rectilíneas.
Y longitudinales 		Alto contenido de carbono o azufre del material base.	
Socavaduras 	Ranura en la superficie a lo largo del borde de la soldadura.	Este tipo de defectos es debido a la técnica empleada por el operario. Demasiada corriente o un arco muy largo pueden aumentar la tendencia a la socavadura.	Línea oscura, a veces ancha y difundida a lo largo del borde del cordón.

1.3 Bases de datos

Para Sánchez y Carbonell (2001, 4), 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.

1.3.1 Bases de datos relacionales. Según Sánchez y Carbonell (2001, 7), 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.

1.4 Tratamiento digital de la imagen

Este proceso tiene muchas aplicaciones debido a que permite modificar la imagen y ajustarla a un objetivo específico, para lo cual existen diferentes técnicas. *«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» (González, 2002).

1.4.1 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. 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.

1.4.1.1 Ecualización del histograma. A partir de lo expresado por González (2002) y 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.

1.4.2 Filtrado espacial. Se conoce como una de las técnicas de mejora de la imagen, en la cual se tienen en cuenta las características del vecindario (píxeles) con el fin de resaltar detalles de interés en la imagen tratada. A continuación se presenta información para una mejor descripción del procedimiento.

«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.

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 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» (González, 2002).

1.4.3 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, al reemplazar el valor de cada uno de estos píxeles por la mediana de los niveles de gris de su vecindario.

1.4.4 Binarización de una imagen. Según Esqueda (2002, 24), 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).

2. Metodología

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 construirlo y hacerlo evolucionar (Figura 1).

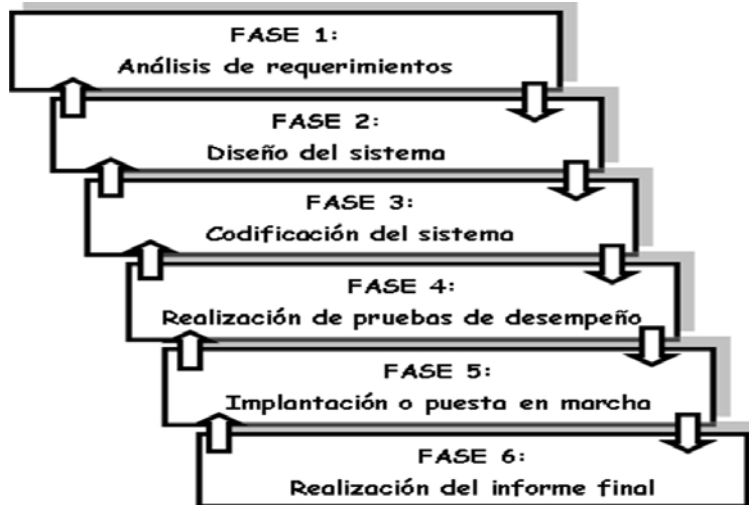


Figura1. Modelo en Cascada (Pressman, 2002)

Para llevar a cabo el proceso se digitalizaron algunas radiografías patrón que presentan un solo tipo de defecto, las cuales pertenecen a la colección del Instituto Internacional de Soldadura (IIW), se hizo posterior-

mente su respectivo tratamiento utilizando la ayuda de MATLAB, lo cual permitió caracterizarlos y obtener los parámetros más relevantes como son el área, perímetro, excentricidad, mínimo rectángulo que lo encierra, altura y longitud. Es decir, las 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.

En la figura 2 se muestra el procedimiento que se llevó a cabo para el diseño del sistema.

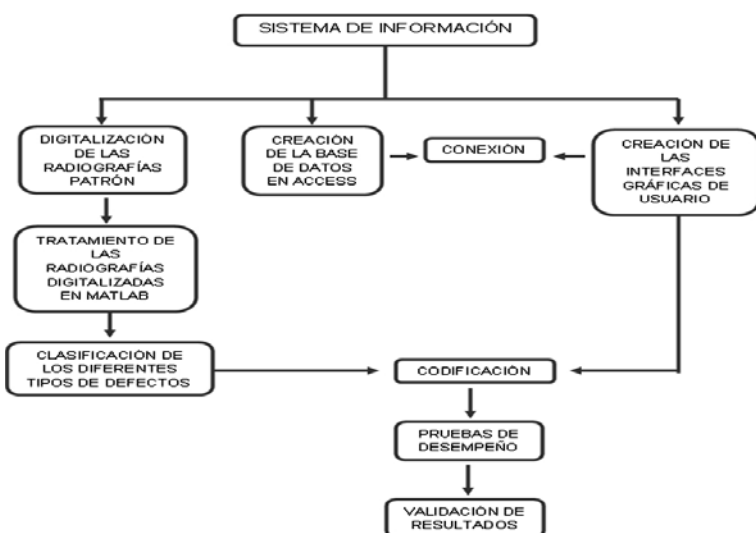


Figura 2. Diagrama del diseño del sistema de información (Fernández, 2010)

Para la digitalización de las imágenes se utilizó una cámara suministrada por el CENTIC (Centro de Tecnología de Información y Comunicación de la UIS), marca Canon Eos digital rebelxt/eos 350 D. 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 57 cm. El tiempo en cada toma fue diferente debido a que el grado de ennegrecimiento que presentaban, además se tuvo en cuenta el tiempo sugerido por la cámara.

Para el tratamiento en MATLAB de las radiografías digitalizadas se siguió el procedimiento que se describe en el diagrama de flujo de la figura 3. 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 aplicó una técnica de normalización del histograma con el fin de aumentar el contraste de la imagen.

Para reducir el ruido de la imagen se aplicó un filtro mediana. Finalmente, se utilizó un umbral diferente para cada defecto, con el fin binarizarlo y con base en ésta 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 completa, el objeto de interés perdía su forma.

Para la clasificación de los diferentes tipos de defectos fue necesario establecer parámetros que se obtienen con el tratamiento de la imagen, para posteriormente aplicarlos a expresiones matemáticas. En las tablas 2 y 3 se muestran respectivamente los parámetros de clasificación y las expresiones matemáticas establecidas.

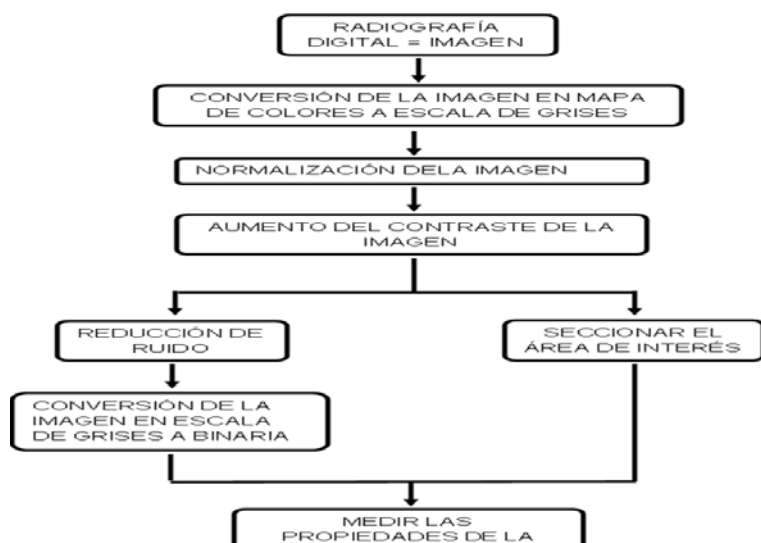


Figura 3. Caracterización para la detección de los defectos (Fernández, 2010)

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

Símbolo	Parámetro	Unidad
P	Perímetro del defecto	cm
H	Altura del defecto	cm
A	Área del defecto	cm ²
L	Longitud del defecto	cm
H _c	Altura del cordón	pixeles
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	pixeles

Tabla 3. Expresiones matemáticas usadas para la clasificación de los defectos (Shafeeka, 2003)

Fórmula	Descripción
$F_f = \frac{P^2}{4\pi A}$	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

Después de hallar las expresiones, estas se aplicaron en el diagrama de flujo de la figura 4.

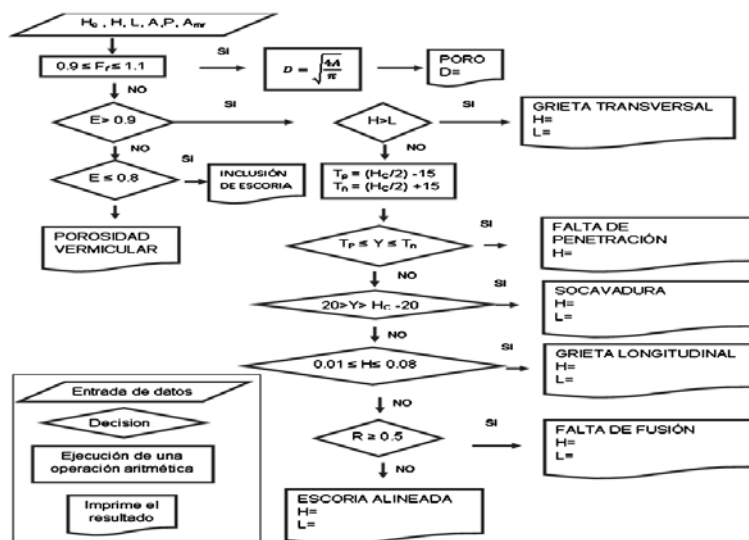


Figura 4. Metodología para la clasificación de los diferentes tipos de defectos (Fernández, 2010)

Posteriormente se creó la base de datos en Microsoft Access, para lo que inicialmente se nombró la base de datos en blanco, posteriormente se creó la primera tabla llamada tipo_defecto. 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

Para la creación de las interfaces de usuario se inició con la del menú principal en con las opciones defectología, ayuda seguir y posteriormente la de cada tipo de defecto a partir de la cual se puede seleccionar la imagen de la radiografía y las opciones de tratamiento, características, menú y salir. En la figura 5 se muestran los diferentes tipos de defectos presentes en la opción defectología.

Al tomar un defecto aparece otra interfaz de usuario en la cual se encuentra la imagen de la radiografía y las opciones tratamiento, características, menú y salir (Figura 6). La opción característica muestra información del defecto (Figura 7), la opción tratamiento realiza el tratamiento, la opción menú me regresa al menú principal.



Figura 5. Tipos de defectos (Fernández 2010)



Figura 6. Interfaz de un defecto (Fernández, 2010)

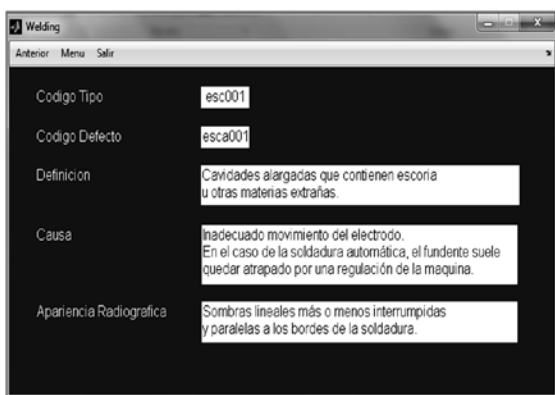


Figura 7. Características del defecto (Fernández, 2010)

3. Resultados y discusiones

Inicialmente se muestran los resultados del tratamiento digital de imágenes de los defectos estudiados y luego los datos de las pruebas de desempeño en cuanto a su dimensionamiento.

A continuación se presentan los resultados para el tratamiento del defecto poro.

Se inició con una conversión de la imagen en color verdadero a escala de grises. En la figura 8 se encuentran presentes las dos imágenes.

Posteriormente una normalización de la misma. Para visualizar este cambio es necesario mostrar el histograma de la imagen sin normalizar y normalizada (Figura 9).

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

Luego se realizó una modificación del histograma para aumentar el contraste. Para esta aplicación se cortó la imagen trabajando la parte que contenía el defecto. Seguido de una aplicación del filtro mediana, con el fin de reducir el ruido (Figura 10).

Finalmente se aplicó un umbral de binarización, dicho cambio se muestra en la figura 11.

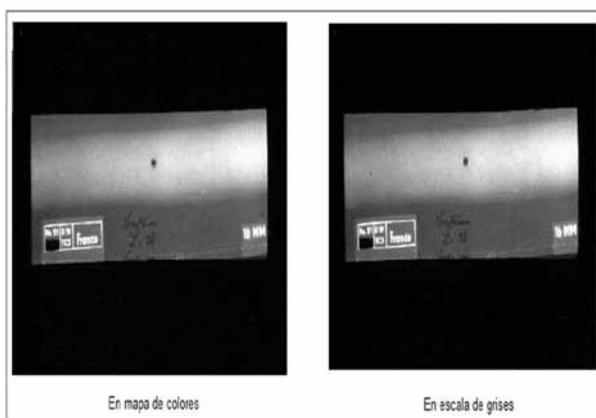


Figura 8. Imagen digital del poro (Fernández, 2010)

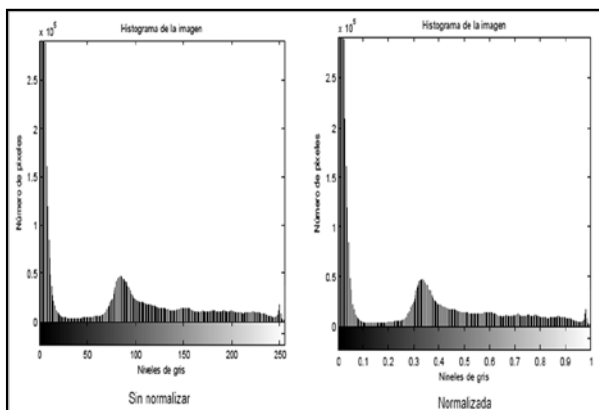


Figura 9. Histograma del poro (Fernández, 2010)

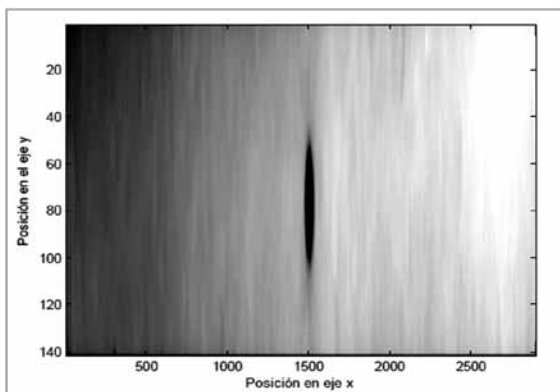


Figura 10. Aplicación del filtro mediano para el poro (Fernández, 2010)

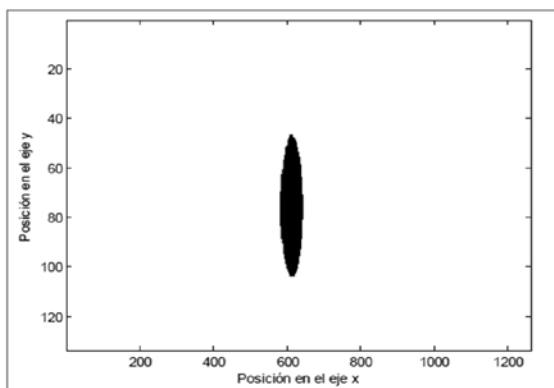


Figura 11. Imagen binaria para el poro (Fernández, 2010)

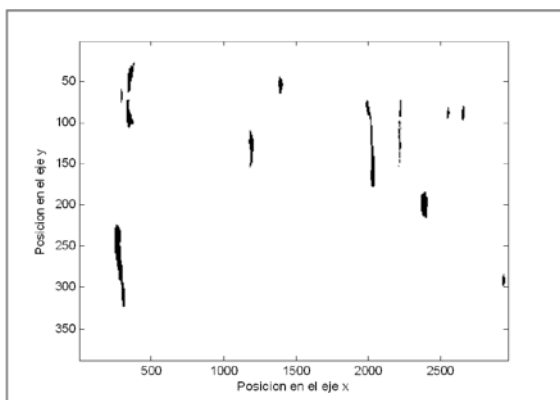


Figura 12. Ubicación de los poros vermiculares en la matriz creada previamente (Fernández, 2010)

De manera similar se llevó a cabo el tratamiento para los defectos: penetración incompleta y grieta longitudinal. En cuanto a los defectos inclusión de escoria y porosidad vermicular, debido a que se encontraban varios del mismo tipo en la imagen, fue necesario hacer tratamiento defecto por defecto colocándose finalmente en su respectiva posición dentro de una matriz previamente creada (figura 12). En los defectos socavadura, falta de fusión, grieta transversal y escoria alineada, fue necesaria hacer una especificación poligonal de la región de interés como proceso que reemplazó la binarización (Figura 13).

A partir de la realización de pruebas de desempeño, se verificó que los datos obtenidos de las dimensiones de cada defecto se aproximarán a los valores reales, para ello fue necesario tomar medidas a los defectos presentes en las radiografías sin digitalizar y compararlos con los suministrados por el sistema de información. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.

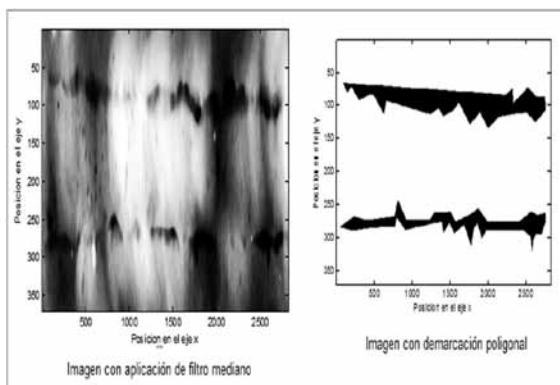


Figura 13. Imagen antes y después de la demarcación poligonal (Fernández, 2010)

De acuerdo con los datos obtenidos se determinó el porcentaje de error en la altura y las longitudes, así como en el diámetro de los defectos de acuerdo con las características particulares de estos. El sistema de información presentó un porcentaje de error en altura de 40.33%, en longitudes de 11.82%, y en el diámetro del poro de 6.67%, en una muestra de ocho datos por cada caracte-

rística. Estos valores fueron encontrados a partir de medidas manuales tomadas a las radiografías de forma.

Tabla 4. 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

Se presentó un porcentaje de error más alto en la determinación de la altura del defecto, debido probablemente a imprecisiones en la lectura de dimensiones menores a 10 milímetros.

Es importante resaltar que debido a la morfología irregular de algunos defectos como son los poros vermiculares (forma de bastones) y las inclusiones de escoria (sin forma específica), no se pudo determinar sus dimensiones y por lo tanto los respectivos porcentajes de error.

Después de la realización de las pruebas de desempeño, se verificó el funcionamiento del sistema utilizando otras radiografías digitalizadas, con el fin de realizar los ajustes necesarios. Al realizar estas pruebas, se pudo comprobar que es necesario hacer modificaciones al programa, si se desea ampliar el número de defectos existentes en el sistema,

debido a que los parámetros usados son muy específicos para los nueve defectos típicos analizados.

4. 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 defectos generados 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 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.

Bibliografía

- ALAKNANDA; ANAND, R.S. and PRADEEP, Kumar (2006). Flaw detection in radiographic weld images using morphological approach [Online]. En: NDT&E International Vol. 39, No. 1, (jan). Maryland Heights (USA): Elsevier Ltd. p. 29-33. ISSN: 0963-8695. <doi:10.1016/j.ndteint.2005.05.005> [Consult: 15/09/2010].
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2008). Standard Guide for Storage of Radiographs and Unexposed Industrial Radiographic Films1. ASTM E 1254-08. Pennsylvania (United States). ASTM International. 3 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2006). Standard Test Method for Radiographic Examination of Weldments. ASTM E 1032. Pennsylvania (United States). ASTM International. 6 p.
- DA SILVA, Romeu R.; CALOBA, Luiz P; SIQUEIRA, Marcio H. S.; REBELLO, João M. A. (2004). Pattern recognition of weld defects detected by radiographic test. In: NDT&E International. Vol. 37, No. 6, (sep.). Maryland Heights (USA): Elsevier Ltd. p 461-470 ISSN: 0963-68695. <www.elsevier.com/locate/ndteint> [Consult: 13/08/2010].
- DA SILVA Romeu R.; SIQUEIRA, Marcio H.S.; VIEIRA DE SOUZA, Marcos Paulo; REBELLO, João M.A; CALÓBA, Luiz P. (2005) Estimated accuracy of classification of defects detected in welded joints by radiographic tests In: NDT&E International Vol. 38, No. 5, (jul.). Maryland Heights (USA): Elsevier Ltd. p. 335-343. ISSN: 0963-68695. <www.elsevier.com/locate/ndteint> [Consult: 10/07/2010].
- EASTMAN KODAK COMPANY. (1980). Radiography in modern industry [on line] Nueva York (USA): Eastman Kodak Company. <<http://www.kodak.com/eknec/documents/87/0900688a802b3c87/Radiography-in-Modern-Industry.pdf>> [Consult: 13/08/2010].
- ECHEVARRÍA, Ricardo (2002). Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ingeniería. Laboratorio de Ensayos No destructivos. Defectología. [En línea] Comahue (Argentina): Universidad Nacional del Comahue. 55 p. <fain.uncoma.edu.ar/materias/...Defectologia/Defectologia.pdf> [Consulta: 15/11/2009].
- ESQUEDA ELIZONDO, José Jaime. (2010). Fundamentos de Procesamiento de Imágenes. [En línea]. Tijuana (México): Universidad Autónoma de Baja California. 50 p. <<http://fcqi.tij.uabc.mx/docentes/esqueda/cursoimagenes.pdf>> [Consulta: 12/10/2010].
- FELISBERTO, Marcelo Kleber; LOPES, Heitor Silvério; CENTENO, Tania M. and RAMOS DE ARRUDA, Lúcia V. (2006) An object detection and recognition system for weld bead extraction from digital radiographs. In: Computer Vision and Image Understanding. Vol. 102, No. 3, (jun.). Maryland Heights (USA). Elsevier Inc. p 238-249. ISSN: 1077-3142. <www.elsevier.com/locate/cviu> [Consult: 20/11/2010].
- FERNANDEZ, Mayerly Jhojana y ORTIZ, Liliana Rocío. (2010). Sistema de Información para el reconocimiento en radiografías de defectos de soldadura en aceros. Trabajo de grado (Ingeniería Metalúrgica). Bucaramanga (Colombia): Universidad Industrial de Santander. 81 p.
- GÓMEZ MORENO, Orlando José. (1993). Soldadura de Metales. Bucaramanga (Colombia): Universidad Industrial de Santander. 172 p.
- GÓMEZ TEJADA, Daniel Alexis. (2009). Dispositivo Óptico para la Reconstrucción Tridimensional de la Piel Humana por el Método de Proyección de Franjas. Trabajo de grado (Ingeniero Físico). Popayán (Colombia): Universidad del Cauca. 65 p.
- GONZÁLEZ, Rafael and WOODS, Richard Eugene (2008). Digital Image Processing. 3 ed. New Jersey (USA): Prentice Hall. 954 p. ISBN: 0-13-168728-X.
- INTERNATIONAL INSTITUTE OF WELDING. I.I.W. (1961) Radiographs of welds. IIW Commission V. Sweden. 43 p.
- MELENDREZ CÓRDOBA, Germán. (2001). Inspección Radiográfica de Soldadura Asociación Colombiana de Soldadura. Tunja (Colombia). 200p.
- ORTIZ MARTÍNEZ, Antonio Carlos. (s.f). Base Defectológica de Soldaduras Evaluación, Caracterización e Interpretación Radiográfica de Soldaduras en Materiales Metálicos. [En línea] Cartagena (Colombia). Universidad Politécnica de Cataluña 22 p. <<http://es.scribd.com/doc/48532905/Interpretacion-defectos-soldadura-radiografia>> [Consulta: 15/11/2009].

- PRESSMAN ROGER e INCE, Darrel (2002). Ingeniería Del software un enfoque práctico 5 ed. Madrid (España): McGraw Hill. 601 p. ISBN: 84-481-3214-9.
- SÁNCHEZ. NAVARRO, José Daniel y CARBONELL AYUSO, Inés (2001). Microsoft Access 2002: Iniciación y referencia. Madrid (España): McGraw-Hill. 388 p. ISBN: 84-481-3221-1.
- SHAFEEKA, H.I.; GADELMAWLAB, E.S.; ABDEL-SHAFYB, A. A. and ELEWA, I.M. (2003). Automatic inspection of gas pipeline welding defects using an expert vision system. In: NDT & E International Vol. 37, No. 4, (jun). Maryland Heights (USA): Elsevier Ltd. p 301-307. ISSN: 0963-8695. <www.sciencedirect.com> [Consult: 2/10/2010].
- VALAVANIS, Ioannis and KOSMOPOULOS, Dimitrios (2010). Multiclass defect detection and classification in weld radiographic images using geometric and texture features. En: Expert Systems with Applications Vol.37, No 12, (dec). Maryland Heights (USA): Elsevier Ltd. p 7606-7614. ISSN: 0957-4174. <www.elsevier.com/locate/eswa> [Consult: 17/11/2010].