

# INTROSPECCIÓN TOMOGRÁFICA DE PIEZAS COMO HERRAMIENTA EN LA RESTAURACIÓN DE MATERIALES

R. Barbuzza<sup>1</sup>, M. del Fresno<sup>1</sup>, A. Clause<sup>1-2</sup>, M. Vénere<sup>1-2</sup>

*1 PLADEMA – ISISTAN, Universidad Nacional del Centro,  
7000 Tandil - Tel/Fax:(02293) 442202*

*2 CNEA, CONICET*

*e-mail: {rbarbu, mdelfres}@exa.unicen.edu.ar*

**RESUMEN** Numerosas áreas de la tecnología pueden ser fuertemente potenciadas si cuentan con la posibilidad de obtener imágenes del interior de los objetos. En este trabajo se presenta una metodología no convencional, basada en la reconstrucción tomográfica y la consecuente visualización y segmentación de la imagen como alternativa de análisis no destructivo de materiales. Los resultados obtenidos muestran la factibilidad de aplicarla en numerosas áreas de la tecnología, como control de calidad en procesos de fabricación, inspección en estructuras de edificios, inspecciones mecánicas o restauración de obras artísticas.

**Palabras Claves:** reconstrucción tomográfica, visualización 3D, segmentación de imágenes, inspección visual.

## 1. Introducción

Muchas de las riquezas patrimoniales históricas o artísticas están construidas en base de materiales, que por su origen mineral inorgánico, son muy estables bajo condiciones normales. Sin embargo, es innegable que a través del tiempo estos materiales sufren deterioros causados por su propia naturaleza y composición; además de haber soportado las condiciones del medio ambiente, los agentes biológicos y las tensiones internas del material.

Frente a este problema, existen diferentes enfoques para inspección de materiales que en algunos casos pueden ser aplicados a la restauración de piezas (1),(2). Algunos de ellos implican la destrucción de una porción superficial o puntual del material (Ej. microscopía óptica o electrónica, microsonda electrónica, etc.). Otra alternativa es aplicar una técnica de ensayo no destructiva, capaz de brindar la información requerida para un diagnóstico visual del estado de la pieza (Ej. radiografía, gammagrafía, tomografía, resonancia magnética, ecografía, termografía, etc.). En este caso, se obtienen distintas vistas o proyecciones mediante alguna fuente de energía particular que en interacción con el objeto de análisis brinda información sobre su estado (3).

En general los métodos de inspección son específicos al producto que se desea examinar ya que se requiere una fuente de energía acorde al material a proyectar. En nuestro caso, el interés radica en el análisis de piezas metálicas, para lo cual es necesario contar con una fuente de radiación de amplio espectro que penetre

fácilmente este material. Los emisores gamma de origen nuclear (fuentes isotópicas) o aceleradores de partículas, tienen el espectro adecuado pero son de manipulación peligrosa, o de costo muy elevado o simplemente no pueden transportarse hasta el área de interés. Los denominados equipos Plasma Focus y Z-pinch, entre otros, tienen la característica de ser pequeños y portátiles, además de producir pulsos de corta duración y de alta intensidad de radiación X, lo que permiten tomar placas radiográficas de buena calidad, incluso de objetos que pueden estar en movimiento.

En este trabajo se presenta una herramienta que utiliza la tomografía computada para la inspección de materiales. Por un lado se provee un método de reconstrucción no convencional de una imagen tomográfica de la pieza a partir de proyecciones radiográficas tomadas en distintos ángulos con un equipo Plasma Focus. La herramienta se complementa con facilidades de visualización y segmentación tridimensional que permite realizar una introspección del objeto para identificar imperfecciones, detectar defectos, inhomogeneidades, examinar propiedades, medir vacíos micrométricos, adherencias o localizar zonas específicas.

## **2. Reconstrucción tomográfica**

La técnica radiográfica se basa en el proceso físico por el cual un haz de radiación electromagnética (en este caso rayos X) reduce su intensidad al pasar a través de un cuerpo. Esta atenuación es proporcional a la composición y densidad de los materiales que atraviesa, por lo cual la radiación saliente puede utilizarse para generar una proyección del cuerpo sobre una placa colocada detrás del mismo.

Esta técnica puede ser utilizada para una inspección visual del objeto, sin embargo, su principal problema es que en la imagen que se obtiene se superpone información de las estructuras internas de diferentes profundidades, dificultando su interpretación. Otro inconveniente es que en varios casos es necesario tomar varias placas radiográficas de un producto desde distintos puntos de vista, y éstas por lo general no son correspondientes entre sí, es decir lo que está presente en una imagen puede no aparearse exactamente con las demás. Por esta razón, la observación se realiza sobre cada una de las vistas en forma individual, sin considerar la información en forma conjunta (3),(4).

A diferencia, la tomografía computada, es un proceso por el cual se puede reconstruir la imagen tridimensional del cuerpo a partir de un cierto número de proyecciones tomadas a diferentes ángulos. Las ventajas de esta técnica son de gran importancia, ya que permite visualizar cortes virtuales de la imagen tridimensional del objeto, en lugar de sólo considerar proyecciones radiográficas del mismo (5).

### **2.1. Equipos Plasma Focus**

Los tomógrafos convencionales de tercera generación que se emplean actualmente son dispositivos de gran tamaño, altamente especializados para el área de medicina. En cada disparo estos dispositivos sólo atraviesan un corte transversal del paciente obteniendo una proyección unidimensional del mismo. Este procedimiento se repite para obtener una proyección de toda la sección de interés, por lo que el tiempo de adquisición de datos resulta muy elevado. Todas estas características limitan el uso de estos tomógrafos en áreas como ensayo no destructivo.

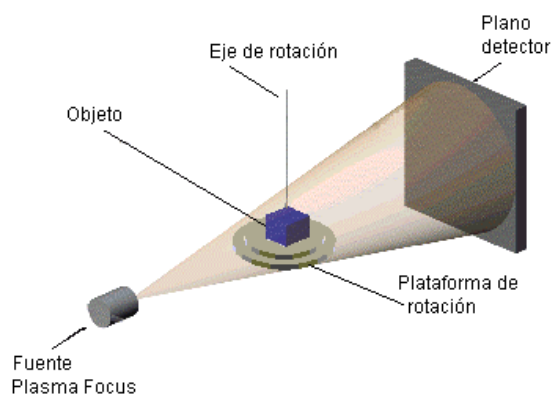


Figura 1. Captura de proyecciones

Hoy en día, existen generadores de radiación Plasma Focus (PF) que liberan energía radiante en pulsos ultracortos, con radiación X de amplio espectro, y además son equipos pequeños y portátiles. Por otra parte, en cada disparo se adquiere una proyección bidimensional del cono completo de radiación, lo cual disminuye considerablemente el tiempo de captura de datos (6).

La Figura 1 muestra un esquema del sistema montado para la toma de las proyecciones, el cual fue diseñado y construido por investigadores de PLADEMA. Con este dispositivo, en cada rotación de la plataforma (ángulo determinado), se realiza un disparo desde la fuente, y se adquiere una proyección del objeto sobre el plano detector. El eje y la plataforma de rotación se utilizan como elementos de referencia para aparear o alinear automáticamente todas proyecciones realizadas sobre el objeto. Como plano detector se usa placas radiográficas.

Con este mecanismo, se realizó un experimento con un objeto de aluminio al cual se le tomaron 8 proyecciones que fueron digitalizadas con una resolución de 0.08 mm./píxel (Figura 2). Antes de realizar la generación de la tomografía se tiene en cuenta distintos tipos de errores que pueden introducirse en la captura de las proyecciones (Ej. proyecciones rotadas o mal alineadas, precisión del ángulo, diferencia de intensidad, etc.) (4).

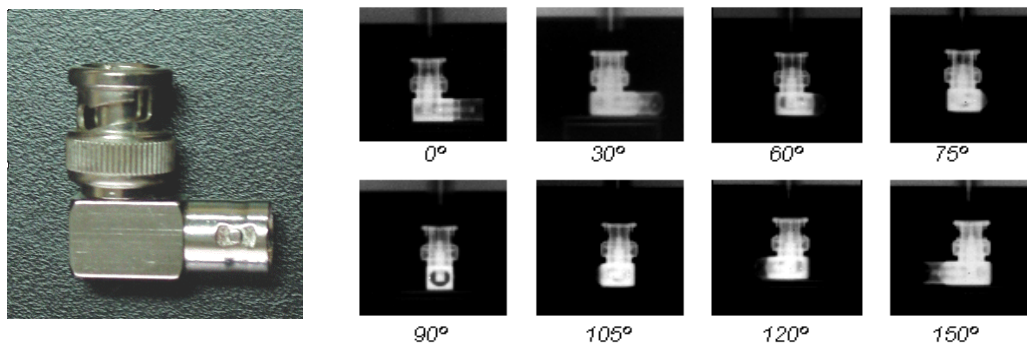


Figura 2. Objeto original y 8 proyecciones obtenidas a ángulos diferentes

## **2.2. Reconstrucción con la técnica de Monte Carlo**

El problema de reconstrucción de la tomografía computada ha sido resuelto usando enfoques tanto determinísticos como probabilísticos. Entre los primeros se pueden citar DFI (Direct Fourier Inversion), FBP (Filtered Backprojection) y CBP (Convolution Backprojection) y técnicas de reconstrucción algebraica (ART), y los probabilísticos más conocidos son Bayesian y ML-EM (Maximum Likelihood Expectation – maximization). La ventaja de estos últimos es que pueden buscar aleatoriamente una solución que mejor aparea en el comportamiento de datos imperfectos, incompletos, y con cierto nivel de ruido, mejorando la calidad de la reconstrucción (7),(8). Tal es el caso, por ejemplo de las variaciones de intensidad registradas en las placas radiográficas obtenidas con equipos Plasma Focus (6) o en el testeo no destructivo de materiales con amplia variación de densidades u otras aplicaciones que trabajan con pocas proyecciones o tienen imperfecciones (9),(10).

En nuestro caso, se adaptó el método probabilístico Monte Carlo, usado para aproximar la solución de problemas de optimización en general, al problema de la reconstrucción tomográfica. Este método va proponiendo aleatoriamente imágenes, hasta encontrar una que se ajusta mejor en el conjunto de proyecciones reales. El muestreo se realiza siguiendo una secuencia de imágenes que van mutando unas de otras en cambios del tono de algunos píxeles. Para asegurar que la búsqueda tienda a la solución, se establece un criterio de aceptación de los cambios propuestos, que indica el grado de satisfacción de cada imagen, hasta llegar a una solución con un valor de error aceptable. Este método se describe con mayor detalle en (11).

Una de las características de este algoritmo es que permite incorporar fácilmente técnicas estratégicas que mejoren tanto la calidad de la reconstrucción como de performance del algoritmo. Por esta razón, se incorporaron distintas estrategias de muestreo y mutación del método. Con respecto al muestreo, puede ser Fijo o Secuencial. El muestreo fijo establece un plan a priori de selección de píxeles a mutar y éste no cambia durante la reconstrucción. A diferencia, el muestreo secuencial cambia el plan de selección de píxeles víctimas de acuerdo al estado actual de la reconstrucción. Esta estrategia resulta más apropiado aplicarla al comienzo de la reconstrucción ya que se favorecen los píxeles que requieren mayor corrección, mientras que el muestreo fijo tiene mejor comportamiento cuando todos los píxeles requieren similar corrección. Por su parte, los métodos de mutación pueden seleccionar un píxel para cambiar su tonalidad (Asignación), o seleccionar dos píxeles e intercambiar tonalidad entre ellos (Negociación). Estas estrategias, además, pueden utilizarse con un método de reconstrucción con o sin multiresolución. La ejecución con multiresolución acelera la convergencia del algoritmo respecto a la resolución plana (11).

El método Monte Carlo se aplicó al caso real de reconstrucción tomográfica a partir de placas de la Figura 2. A modo de ejemplo se muestra en la Figura 3 una reconstrucción 3D del objeto, usando estrategia de muestreo secuencial combinada con fijo, asignación y sin multiresolución. La imagen tomográfica generada por Monte Carlo tiene buena calidad, mostrando que el algoritmo se adapta perfectamente a casos de reconstrucción con pocas proyecciones, con imperfecciones y ruido considerable.

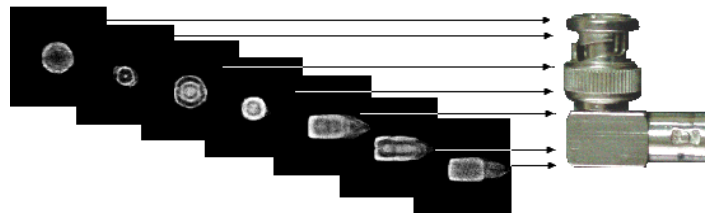


Figura 3. Reconstrucción tomográfica de los cortes axiales del conector con Monte Carlo

### 3. Visualización de tomografías

La imagen obtenida luego del proceso de reconstrucción tomográfica consiste de una serie de muestras discretas en un espacio tridimensional (voxels), cada una de las cuales representa el valor del componente del material en cada punto.

Con el fin de poder analizar la información contenida en una tomografía se deben proveer facilidades de visualización y segmentación apropiadas para manipular el importante volumen de datos considerado. El área de aplicación de estos procesos es sumamente amplio, aunque los principales avances se han registrado en el campo de la industria y la medicina (12).

La herramienta que se presenta resulta útil para la inspección interna del campo de atenuación de las reconstrucciones tomográficas. A través de ellas es posible la localización de estructuras específicas o defectos del material, así como la extracción de características de los objetos de interés mediante mediciones de tamaños y volúmenes (13).

Una de las alternativas de visualización consiste en la generación de cortes del objeto sobre los distintos planos cartesianos, además de los correspondientes al plano axial obtenidos mediante el algoritmo de reconstrucción. En la Figura 4 se presenta una imagen en la que se pueden apreciar una serie de cortes del conector BNC correspondientes al plano sagital, coronal y axial, respectivamente. Esta facilidad permite además una navegación integrada a través de la imagen tridimensional, indicando en cada corte la posición relativa de las otras vistas.

Si bien esta forma de visualización posibilita el recorrido de cortes individuales del objeto, no permite apreciar adecuadamente su aspecto tridimensional. En el campo de la computación gráfica se han propuesto distintas técnicas de *rendering* (14),(15) para la visualización de imágenes tridimensionales sobre un plano de visión, las cuales se pueden clasificar básicamente en dos enfoques: *surface rendering* (16) y *volume rendering* (17). El primer enfoque se basa en la detección y descripción de

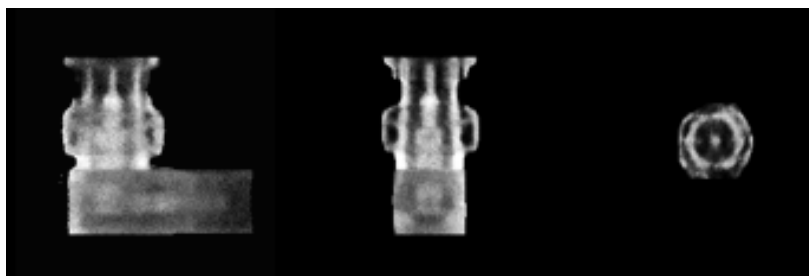


Figura 4. Cortes del conector BNC en los 3 planos cartesianos

las superficies de los elementos que componen el objeto y la consiguiente visualización de aquellas que se pueden observar desde un punto de vista dado. En el segundo esquema, la visualización resulta de la composición de las contribuciones de los elementos de la imagen ubicados a lo largo de una serie de rayos virtuales, perpendiculares al plano de visión, sin necesidad de generar un modelo explícito de superficies. Esta técnica se basa en modelar los datos como un volumen semi-transparente, pudiendo realizar una asignación de color y de transparencia a los materiales presentes en la imagen, producto de la propagación de los haces de radiación.

El *rendering* de volúmenes ofrece una posibilidad de visualización más completa ya que permite la graficación del conjunto de datos en su totalidad sobre la pantalla, en lugar de un subconjunto del mismo. Tradicionalmente, este esquema ha resultado computacionalmente más costoso que el tratamiento de superficies; sin embargo, los avances producidos recientemente en el software y en el hardware de graficación han permitido reducir enormemente el tiempo de procesamiento (14),(18).

La aplicación ambos enfoques de graficación. En el caso de *volume rendering* se proporciona una vista tridimensional del objeto reconstruido, que simula su apariencia real, por medio de la generación de proyecciones de la imagen sobre el plano de la pantalla (Figura 5-a). Esta alternativa permite aumentar las posibilidades de análisis de la información, ya que se puede estudiar el objeto desde cualquier orientación, con el fin de apreciar distintos aspectos del mismo. Para ello, se debe especificar el sentido de la rotación, de manera de poder aplicar la transformación correspondiente y desplazar el plano de visión hasta el nuevo punto de observación, según la dirección indicada. Este esquema de *rendering* básico se complementa con facilidades de iluminación de la imagen y opciones de visualización que permiten revelar estructuras internas mediante la observación del volumen a través de planos de corte arbitrarios y el realce de la proyección por medio de la definición de componentes geométricos, como se puede apreciar en la Figura 5-b.

#### 4. Segmentación de la imagen

Otra alternativa de análisis de las reconstrucciones consiste en la descomposición de la imagen en regiones significativas, según cada aplicación particular, mediante

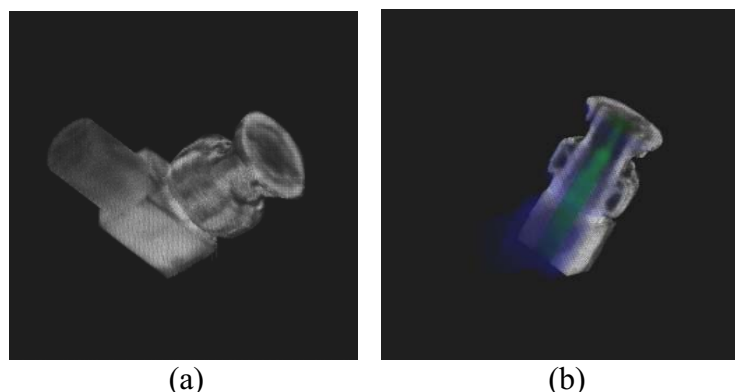


Figura 5. Proyección del conector BNC: vista externa con rotación (a), aplicación de plano de corte y realce de componentes (b)

algoritmos de segmentación (13). Este tipo de técnicas constituyen un aspecto fundamental en la asistencia y automatización de aplicaciones de detección de características, y además condicionan los resultados de procesos subsecuentes, como el reconocimiento de patrones (19).

Se han planteado diferentes métodos computacionales capaces de llevar a cabo la segmentación de una imagen; sin embargo, aún no existen soluciones definitivas ni algoritmos generalmente aplicables. Dentro de las distintas posibilidades, el *thresholding* (20) es uno de los algoritmos más simples y rudimentarios, capaz de aislar objetos de interés del resto de la imagen basándose en los valores de intensidad, aunque suele presentar problemas en imágenes de bajo contraste o con zonas estructuralmente diferentes pero con intensidades similares. Por otro lado, los enfoques basados en la detección de bordes permiten la delimitación de fronteras entre componentes, caracterizadas por puntos de alto valor de gradiente (20). Este tipo de métodos resultan apropiados para imágenes de características bien definidas, pero pueden producir resultados no satisfactorios debido a su sensibilidad al ruido. Esto resulta decisivo en el caso de imágenes provenientes de reconstrucción tomográfica, en las que los bordes no siempre resultan claramente definidos. Otro tipo de algoritmos, basados en el procesamiento de regiones, buscan delimitar zonas homogéneas de la imagen, mediante la inclusión progresiva de los elementos que cumplen determinado criterio de similitud. Este constituye un enfoque poderoso de segmentación, ya que utilizan la idea de conectividad de los voxels, suponiendo a cada paso la posibilidad de que formen parte de la misma región. Entre las alternativas dentro de este último enfoque se encuentran los algoritmos de *split and merge* y *region growing* (13).

En la herramienta desarrollada se proveen algunos de los métodos de segmentación más difundidos. Todas las opciones desarrolladas son de utilización sencilla y proporcionan una visualización inmediata de los resultados, los que pueden ser aceptados, corregidos o descartados, de acuerdo al criterio del usuario.

#### **4.1. Algoritmo de crecimiento de regiones**

Una de las opciones de segmentación implementadas se basa en el método *region growing*. Básicamente, cada región de la imagen comienza a formarse a partir de uno o más elementos considerados semillas y evoluciona incorporando voxels vecinos a los ya integrados mientras se satisfaga una determinada condición. La Figura 6 muestra la evolución de la región correspondiente al pin central del conector BNC, segmentada mediante este algoritmo.

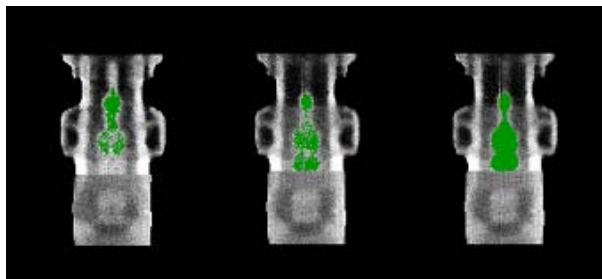


Figura 6. Evolución del algoritmo de llenado para la segmentación de componente interna

Con el fin de controlar el proceso de llenado de las regiones y evitar resultados erróneos, se consideró una estrategia más elaborada que no sólo tiene en cuenta la similitud de cada voxel con respecto a la semilla, sino también las propiedades de su entorno. Esta variante permite reducir las oportunidades de escape del proceso de llenado por conductos delgados y el consecuente desborde hacia otras regiones de la imagen. El esquema propuesto se puede complementar con un proceso adicional de extensión de la frontera, realizando un crecimiento limitado por niveles, o mediante la aplicación de un filtro de puntos aislados, como se describe en (21).

Los parámetros que permiten controlar el proceso de llenado pueden ser establecidos manualmente por el usuario, o sugeridos por la aplicación. Esto último se lleva a cabo mediante estrategias de pre-procesamiento de la imagen, con el propósito de dotar al esquema de un mayor grado de automatización.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de esta estrategia han sido satisfactorios. Por sus características, el esquema de segmentación es simple y eficiente, y resulta estable con respecto a problemas en los que otras de las técnicas mencionadas habitualmente fallan.

A partir del resultado de la segmentación se pueden detectar regiones que pueden corresponder a defectos (como poros, fisuras, etc.) o componentes específicos de la imagen considerada. Los objetos de interés identificados pueden ser luego evaluados por medio de la extracción de características, a través de la medición de propiedades geométricas (área, perímetro, factores de forma, momentos invariantes, etc.) y de coloración de las regiones (niveles de intensidad, gradientes, textura, etc.) (13),(19).

#### **4.2. Generación del modelo de superficie**

Los resultados del proceso de segmentación pueden ser visualizados por inspección de los diferentes cortes o a través del análisis de proyecciones arbitrarias del volumen, según se ha mencionado más arriba. Además de esta posibilidad, se ha incorporado la opción de generar los datos necesarios para la visualización de las superficies de las regiones segmentadas, mediante algoritmos de *surface rendering*.

El procedimiento implementado se compone fundamentalmente de dos etapas. En un primer paso, se determina una descripción poligonal inicial a partir de la

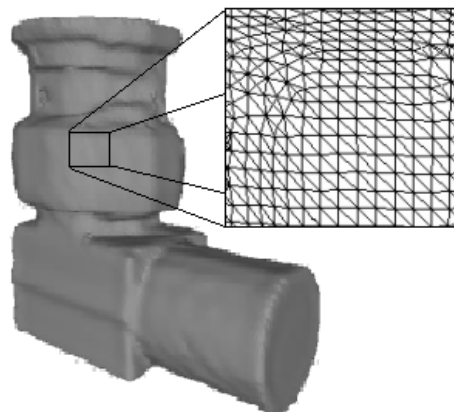


Figura 7. Visualización del conector BNC mediante surface rendering



información sobre los elementos frontera de cada región. Posteriormente, la triangulación obtenida se procesa mediante filtros convenientes, con el objeto de suavizarla y remover imperfecciones, según se explica en (21). En la Figura 7 se presenta una imagen típica del resultado de este proceso aplicado al caso del conector BNC, donde se puede observar una visualización de la superficie del conector, por medio de la graficación del conjunto de triángulos que la conforman.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado una metodología no convencional, basada en la reconstrucción tomográfica y la consecuente visualización y segmentación de la imagen como alternativa de análisis de materiales. Comparada con otras técnicas no destructivas, la principal ventaja de esta propuesta es su elevada versatilidad de uso. En primer lugar, los equipos de captura utilizados son portables, de alto poder de penetración, y aportan información del volumen completo de la muestra, el cual puede ser fácilmente procesado mediante técnicas digitales para la generación de la tomografía. Además, las opciones de visualización y segmentación implementadas proveen amplias facilidades de análisis de la información contenida en las imágenes, permitiendo la localización de defectos internos, mediciones de propiedades de los objetos, etc.

Los resultados experimentales obtenidos a partir del análisis de objetos metálicos han sido altamente satisfactorios. La calidad de las imágenes obtenidas permite apreciar fácilmente detalles internos submilimétricos, incluso a partir de reconstrucciones tomográficas basadas en un número reducido de vistas. Esto permite prever que esta metodología innovadora se puede adaptar perfectamente como herramienta para el estudio y conservación de obras del patrimonio cultural, con el objetivo de disminuir el riesgo de su eventual deterioro.

Por sus características, tanto el algoritmo de reconstrucción tomográfica como el esquema de crecimiento de regiones empleado para la descomposición de la imagen pueden ser potenciados mediante la incorporación de información a priori al proceso (Ej. acerca de fallas habituales en el material, forma y volumen de los objetos en estudio, etc.). La integración de conocimiento a los algoritmos utilizados ciertamente constituye un aspecto de futura investigación.

## 6. Referencias bibliográficas

- (1) Hunt B., *"Bayesian methods in nonlinear digital image restoration"*, IEEE Trans. on Computers, vol. C-26, pp. 219-229, 1977
- (2) Geman and D. Geman, *"Stochastic relaxation, Gibbs distributions and the Bayesian restoration of images"*, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-6, pp. 721-741, 1984
- (3) Mery D., *"Inspección visual automática"*, Primer congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica, 8-12 de abril 2002, Lima, Perú. <http://www.diinf.usach.cl/~dmery>
- (4) Barbuzza R., del Fresno M., Vénere M., Clausse A., Moreno C., Martínez J., *"Reconstrucción tomográfica tridimensional a partir de radiografías"*, VI Congreso

Argentino de Ciencias de la Computación CACIC, Anales CD-CACIC2K PI-003, Ushuaia, 2-7 de octubre de 2000

(5) Herman G., *Image Reconstruction from Projections*. The Fundamental of Computerized Tomography, Academic Press, London, 1980

(6) Vénere M., Moreno C., Clausse A., Barbuzza R. y del Fresno M., "Tomographic system based on plasma focus x-rays", *Nukleonika* 2001, vol. 46 Supplement 1, pp 5-6, 2001

(7) Galigekere R., Wiesent K., Holdsworth D., "Techniques to alleviate the effects of view aliasing artefacts in computed tomography", *Medical Physics*, Vol 26, No 6, 1999

(8) Freese T., Bouman C. A. and Sauer K., "Multiscale Bayesian Methods for Discrete Tomography", in *Discrete Tomography: Foundation, Algorithms and Application*, G. T. Herman and A. Kuba Ed, Birkhauser Boston, Cambridge, MA, 1999, pp. 237-264

(9) Sanderson J. G., "Reconstruction of fuel pin bundles by a maximum entropy method", *IEEE Trans. on Nuclear Science NS-26*, pp. 2685-2688 (1979)

(10) Simon M., Sauerwein C., "Cone beam tomography for quality control and rapid product development", *Insight*, Vol 42, Issue 10, pp. 651-655 (2000)

(11) Barbuzza R., Vénere M., Moreno C., Clausse A., "Reconstrucción tomográfica con métodos estocásticos", CACIC 2002, VIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Anales de CACIC 2002 pp. 99-110, Universidad de Buenos Aires, 15-18 de octubre de 2002

(12) Duncan, J., Ayache, N., "Medical Image Analysis: Progress over Two Decades and Challenges Ahead", *IEEE Transactions on Pattern Recognition and Machine Intelligence*, Vol.22, No.1, 2000

(13) Castleman K., "Digital Image Processing", Prentice Hall, 1996

(14) Brodlie K., Word J., "Recent Advances in Volume Visualization", *Computer Graphics Forum*, Vo.20, No.2, pp. 125-148, 2001

(15) Foley, J., Van Dam, A., Feiner, S., Hughes, J., "Introduction to Computer Graphics", Addison-Wesley, 1996

(16) Levoy M., "Display of Surfaces from Volume Data", 1988, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.8, No.3

(17) Ney D., Fishman E., Magid D., Debrin R., "Volumetric rendering of computed tomography data: principles and techniques", *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1990, Vol. 10, No. 2

(18) Lacroute P., "Fast volume rendering using a shear-warp factorization of the viewing transformation", Technical Report: CSL-TR-95-678, September 1995

(19) Jain A., Duin R., Mao J., "Statistical Pattern Recognition: A Review", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.22, No.1, 2000

(20) Gonzalez R., Woods R., "Digital Image Processing", Addison-Wesley, 1992

(21) del Fresno M., Vénere M., "Un método de segmentación de imágenes digitales tridimensionales por crecimiento de regiones", CACIC 2002, VIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Universidad de Buenos Aires, 15 al 18 de octubre de 2002, p. 354-364