

MÉTODO DE AUTORREFERENCIAMIENTO DE RADIOGRAFÍAS DE PIEZAS METÁLICAS OBTENIDAS EMPLEANDO UN EQUIPO PLASMA FOCUS

G. Acuña, M. C. Cormick, V. Raspa*, y C. Moreno

Depto de Física, FCEyN-UBA, PLADEMA-CNEA e INFIP-CONICET
e-mail: moreno@df.uba.ar

Se propone un método de autorreferenciamiento angular de imágenes radiográficas que permite inferir los ángulos de rotación del objeto respecto del sistema fuente – pantalla, con suficiente exactitud como para lograr una reconstrucción tomográfica del mismo. Como fuente de radiación se emplea un equipo Plasma Focus de 4.7 kJ operado a 30 kV. La idea básica del método de autorreferenciamiento consiste en emplear trazadores radio-opacos solidarios ya sea al objeto o a un eje de rotación, a partir de cuyas imágenes se obtienen los ángulos mencionados. En esta comunicación se describe el método, su implementación práctica y se presentan los resultados obtenidos.

An angular self-referencing method of radiographic images which allows to infer the relative rotation angles between the object and the source-screen system with enough accuracy for allowing tomographic reconstruction of an object, is presented. A 4.7 kJ Plasma Focus operated at 30 kV was used as a radiation source. The basic idea of the self-referencing method is to employ radio-opaque markers attached either to the object or to the rotation axis, from whose images the mentioned angles are obtained. In this communication, both, the method and its implementation are described and the obtained results are presented.

I. INTRODUCCIÓN

La tomografía computada es el proceso por el cual puede reconstruirse la imagen tridimensional de un objeto volumétrico, a partir de un conjunto de proyecciones bidimensionales del mismo, correspondiendo cada una de ellas a distintos ángulos de vista, pudiendo ser referidas a uno o dos ejes ortogonales de rotación.⁽¹⁾

Dichas proyecciones pueden obtenerse interponiendo la pieza a ser reconstruida tomográficamente, entre una fuente emisora de rayos X y una placa radiográfica. En este trabajo se ha empleado radiación X pulsada de alta energía, provista por un equipo Plasma Focus ⁽²⁾ de 4.7 kJ operado a 30 kV con mezclas de deuterio y argón como gas de trabajo.

Si durante la obtención experimental de dicho conjunto de imágenes se modificase de manera desconocida la posición de algún eje de rotación, o bien si se perdiese la referencia externa de la posición angular de la pieza, la serie completa de radiografías del objeto no podría ser empleada en su reconstrucción tomográfica y debería irradiárselo nuevamente. Por este motivo resulta de interés desarrollar un método que permita inferir los ángulos de rotación a partir del análisis y procesamiento computacional de las proyecciones mismas, prescindiendo de una referencia externa para la posición angular del objeto.

En las secciones siguientes se presenta el montaje experimental empleado, el método propuesto y los resultados obtenidos en el autorreferenciamiento angular de imágenes radiográficas de piezas metálicas pequeñas.

II. METODO Y RESULTADOS

Sistema de soporte y rotación diaxial

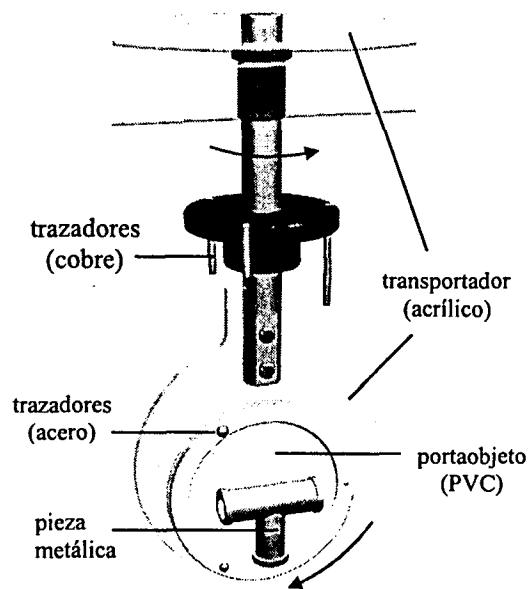


Figura 1: Esquema del sistema de soporte y rotación utilizado. Se indican los componentes principales y sus materiales de construcción.

En la figura 1 se esquematiza el diseño del sistema utilizado para el soporte y rotación de la pieza, indicando los componentes principales y sus materiales de fabricación. El mismo permite rotar el objeto en torno de dos ejes ortogonales y medir de manera independiente (como control del método de autorreferencia) los ángulos de rotación, empleando dos transportadores de acrílico

* Becaria de la Fundación Antorchas (Proyecto 14068-24)

incorporados al soporte como lo muestra la figura 1. El portaobjeto es un disco de PVC que sujeta verticalmente la pieza y permite rotarla. La dirección de rotación horizontal del objeto coincide entonces, con el eje del disco. Por su parte, la dirección de rotación vertical de la pieza, queda definida por el eje del cilindro metálico que sostiene al portaobjetos.

La elección de acrílico y PVC como materiales de construcción, buscó minimizar el efecto que pudiese tener sobre la imagen final del objeto, la atenuación y dispersión de la radiación X empleada para tomar las radiografías.

Como sistema de autorreferenciamiento para el ángulo de rotación respecto del eje vertical, se utilizaron tres varillas de cobre de diferentes longitudes, ubicadas equiespaciadamente en la periferia de una plataforma circular que gira solidariamente con la pieza. Los ejes de las varillas distan $(20,0 \pm 0,2)$ mm del eje de rotación vertical. Como trazadores asociados a la rotación respecto del eje horizontal, se utilizaron tres esferas de acero de distintos diámetros, dispuestas equiespaciadamente sobre el contorno del disco portaobjetos, a una distancia radial de $(20,5 \pm 0,2)$ mm del centro. Como se describirá más adelante, el método propuesto sólo considerará las imágenes de dos de los tres trazadores asociados a cada rotación. El empleo de tres permite, en principio, calcular el mismo ángulo de rotación de tres maneras independientes a partir de una única radiografía del objeto. Adicionalmente evita que sean descartadas del análisis imágenes como la que se muestra en el extremo superior derecho de la figura 3, en la cual la imagen de uno de los trazadores se superpone con la del objeto a radiografiar.

Dado que tanto el acero como el cobre resultan buenos atenuadores de la radiación empleada,⁽³⁾ los trazadores actúan como substancia radio-opaca, y sus imágenes son fácilmente identificables sobre la película. En la figura 2 se presenta la nomenclatura adoptada para la descripción de ambas rotaciones y se ilustra la imagen de los trazadores para una posición angular arbitraria.

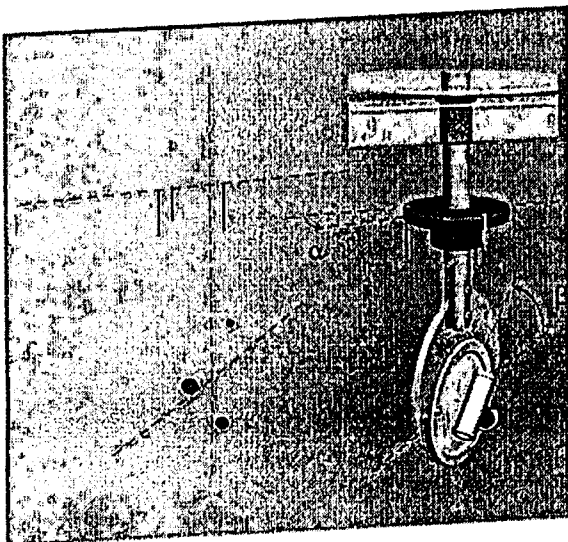


Figura 2: Nomenclatura adoptada para la descripción de ambas rotaciones. Imagen de los trazadores para una posición angular arbitraria.

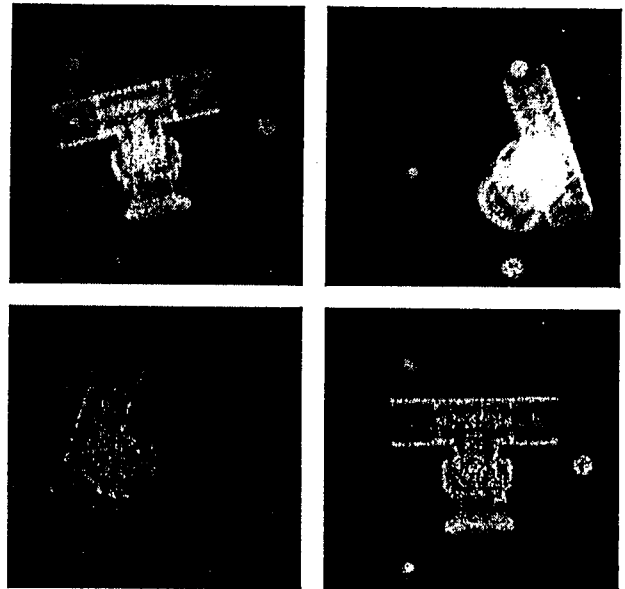


Figura 3: Imágenes radiográficas de un conector T BNC. Se distinguen los trazadores esféricos empleados para el autorreferenciamiento del ángulo de rotación de la pieza respecto del eje horizontal.

Imágenes radiográficas

Se ubicó el objeto a $(94,0 \pm 0,1)$ cm de la fuente como resultado de resolver un compromiso entre la homogeneidad y la intensidad de radiación requeridas para lograr una imagen clara y con buen contraste de la pieza. La rotación en torno al eje vertical exige separarlo un mínimo de $(3,5 \pm 0,1)$ cm de la placa radiográfica.

Para su procesamiento computacional, las placas son digitalizadas con un scanner de 8 bits apto para radiografías. En este proceso se asignan 256 niveles de discretización a la tonalidad de la imagen. La figura 3 muestra las imágenes digitalizadas de cuatro radiografías tomadas en distintas vistas, de un conector metálico BNC en forma de T. En cada una de ellas se puede apreciar con nitidez el interior de la pieza, distinguir las conexiones internas y los contornos. En todos los casos se destaca la imagen de los trazadores esféricos empleados para el autorreferenciamiento del ángulo de rotación de la pieza respecto del eje horizontal.

Método de autorreferenciamiento

A partir de consideraciones geométricas sobre la posición relativa de los trazadores en la imagen digitalizada puede determinarse sin referencia externa, los ángulos de rotación del objeto respecto de una posición angular de referencia.

Para establecer la posición de cada uno de los trazadores, es necesario analizar el perfil de intensidad de su imagen. El mismo corresponde al gráfico del tono de gris que adopta la imagen analizada, sobre una línea trazada a través de la región de interés.

En cada caso, la posición de los trazadores se establece ajustando los perfiles de intensidad de sus imágenes por curvas gaussianas. La posición del eje de cada una de las varillas viene dada por el valor medio de

la gaussiana que ajusta el perfil. Por la geometría involucrada, la determinación de la posición del centro de las esferas requiere considerar, como se ilustra en la figura 4, dos perfiles de intensidad. Tomados vertical y horizontalmente sobre la región de la imagen en la que se encuentra el trazador. El ajuste gaussiano de ambos

perfiles posiciona, a través de sus valores medios, el centro de cada esfera. A la derecha de la figura 4, se esquematizan superpuestos con la imagen radiográfica, los ajustes gaussianos y los perfiles de intensidad considerados para los dos conjuntos de trazadores.

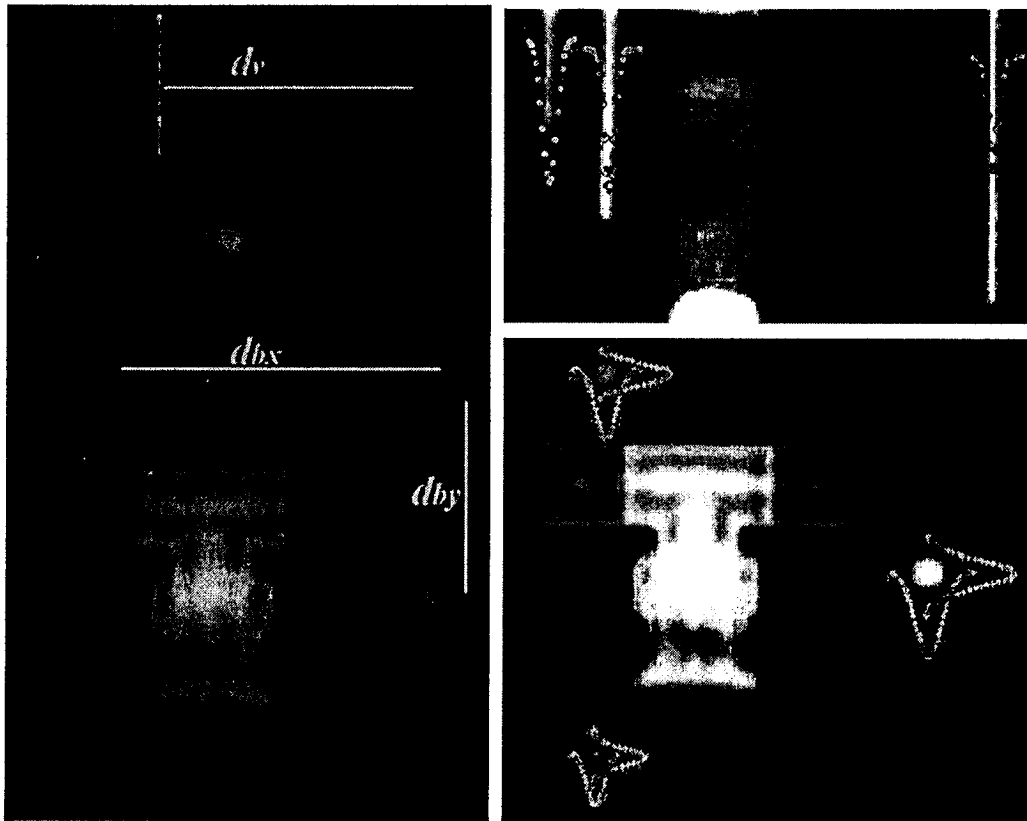


Figura 4: Derecha: se esquematizan superpuestos con la imagen radiográfica, los ajustes gaussianos y los perfiles de intensidad considerados para los dos conjuntos de trazadores. Izquierda: definición de las distancias d_v , d_{bx} y d_{by} .

A través de consideraciones trigonométricas pueden obtenerse las siguientes expresiones que vinculan los ángulos de rotación con la posición relativa de los trazadores sobre la imagen digitalizada. En ellas está

implícita la aproximación de fuente puntual ubicada sobre la dirección que pasa por el centro del disco portaobjeto y es normal a la placa radiográfica.

$$d_v = (a + b) \cdot R \cdot \left[\frac{\cos(\alpha)}{a + R \cdot \sin(\alpha)} - \frac{\cos(\alpha + 120^\circ)}{a + R \cdot \sin(\alpha + 120^\circ)} \right] \quad (1)$$

$$d_{by} = -(a + b) \cdot R_b \cdot \left[\frac{\sin(\beta)}{a + R_b \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta)} - \frac{\sin(\beta - 120^\circ)}{a + R_b \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta - 120^\circ)} \right] \quad (2)$$

$$d_{bx} = (a + b) \cdot R_b \cdot \cos(\alpha) \cdot \left[\frac{\cos(\beta)}{a + R_b \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta)} - \frac{\cos(\beta - 120^\circ)}{a + R_b \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta - 120^\circ)} \right] \quad (3)$$

Las cantidades d_v , d_{bx} y d_{by} se encuentran definidas a la izquierda de la figura 4 y corresponden respectivamente a la distancia comprendida entre los ejes de dos de las varillas de cobre, y a las componentes horizontal y vertical de la distancia que separa los centros de dos de las esferas de acero. Además se indican con a y b , las distancias objeto-fuente y objeto-placa, respectivamente. Se simboliza con R la separación entre los ejes de las varillas y el de rotación

vertical, y con R_b la distancia entre el centro de las esferas y del disco. Conocidas las distancias d_v , d_{bx} y d_{by} y fijados los parámetros experimentales a , b , R y R_b , se tiene un sistema de ecuaciones no lineales cuya resolución numérica permite determinar los ángulos de rotación α y β .

El sistema (1) - (3) puede ser resuelto tras la minimización sucesiva de las siguientes expresiones:

$$S_{\alpha} = (d_v^{exp}(\alpha) - d_v)^2 \quad (4)$$

$$S_{\beta} = (d_{bx}^{exp}(\alpha, \beta) - d_{bx})^2 + (d_{by}^{exp}(\alpha, \beta) - d_{by})^2 \quad (5)$$

en donde d_v^{exp} , d_{bx}^{exp} y d_{by}^{exp} corresponden a los valores obtenidos experimentalmente para las distancias d_v , d_{bx} y d_{by} , para una posición angular determinada. Es decir, se propone que α y β resulten de minimizar el cuadrado de la diferencia entre los valores teóricos y experimentales de la distancia entre dos trazadores del mismo tipo.

De esta forma, la minimización de la ecuación (4) fija el valor de α . Condicionando la minimización de (5) al valor del ángulo α que corresponde a S_{α}^{min} , puede determinarse el valor de β .

Del procesamiento de un conjunto de imágenes tomadas en distintas vistas del mismo objeto, se obtuvo que los ángulos de rotación inferidos via la implementación del método presentado en este trabajo, difieren de aquellos medidos con los transportadores de control, en menos de dos grados. Esta exactitud es suficiente para lograr reconstrucciones tomográficas tanto en superficie como en volumen, a partir de ocho vistas del objeto.⁽⁴⁾

III. CONCLUSIONES

Se desarrolló e implementó un método que permite inferir con una incerteza menor a dos grados, los ángulos de rotación relativos de una pieza metálica pequeña en torno a dos ejes ortogonales a partir del análisis y procesamiento de sus imágenes

radiográficas. Dado que prescinde de referencia externa para la posición angular del objeto, este método introduce una mejora significativa en la técnica empleada hasta el momento para la reconstrucción tomográfica de piezas pequeñas.

Adicionalmente, el sistema de rotación y trazadores empleado, demostró ser eficiente para la obtención de radiografías autorreferenciadas, para su aplicación en tomografía computada de objetos metálicos.

Agradecimientos El presente trabajo contó con el apoyo económico de la Fundación Antorchas (Proyecto 14068-24) de la IAEA (TC Proj. ARG1026-11099L), del PLADEMA-CNEA y de la UBA (X074).

IV. REFERENCIAS

[1] Herman G. Image reconstruction from projections. The fundamentals of computerized tomography. Academic Press, 1980.

[2] C. Moreno, J. Martinez, H. Bruzzone y A. Clause. Operación de un Plasma Focus de cámara compacta como generador de neutrones y radiaciones. Anales AFA, vol 11, 142-144, 1999.

[3] V. Raspa, R. Llovera, A. Clause y C. Moreno. Propiedades de la radiación X de alta energía producida por autocompresión de plasma. Anales AFA, vol 14, 115-118, 2002.

[4] M. Vénere, C. Moreno, A. Clause, R. Barbuza y M. Del Fresno. Tomographic Systems based on Plasma Focus X-rays. Nukleonika, vol 46, S1, 93-94, 2001.