

Gammagrafía y Tomografía de Hormigón Armado

1. Aplicación

Esta técnica puede ser usada para las siguientes aplicaciones:

- Determinación de posiciones, diámetros y condiciones de armaduras, anclajes en diversas estructuras y tendones en postesados
- Detección de oquedades y vacíos en el hormigón y vainas de postesado.
- Detección de corrosión en armaduras y otros elementos metálicos (perfiles doble T) en estructuras de hormigón.

2. Descripción

La gammagrafía y la tomografía tienen semejanza con la radiografía y tomografía computada usada en medicina con la diferencia de que en lugar de usar rayos X se usan rayos gamma emitidos espontáneamente por sustancias radioactivas. La intensidad de la radiación gamma que atraviesa la pieza bajo estudio es detectada en películas o en detectores sensibles a la radiación. En el primer caso (películas gammagráficas) se obtienen imágenes del interior de la muestra.

3. Principio Físico

El concepto básico de la gammagrafía se ilustra en Fig. 1. Una fuente de rayos gamma se desplaza por medio de un telecomando hacia un colimador que permite que la radiación sólo ilumine la pieza a estudiar, blindándola en toda otra dirección. Una placa gammagráfica del lado opuesto registra la radiación transmitida. Cuanto menor es la densidad del material, mayor es la intensidad de la radiación gamma que llega a la placa gammagráfica.

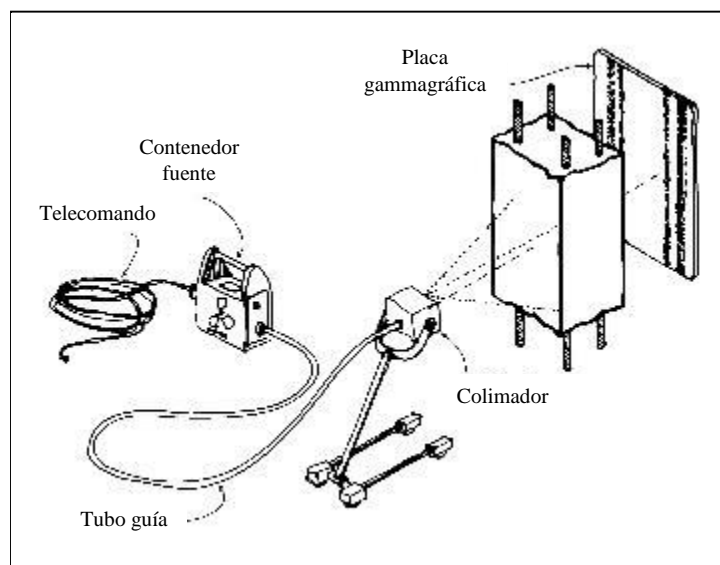


Figura 1. Ilustración del concepto de gammagrafado.

Dado que el concreto es 2,5 veces más denso que el tejido humano, los rayos X usados en medicina no son adecuados para las piezas de concreto. Por esta razón, la gammagrafía de H⁹⁰A⁹⁰ generalmente emplea fuentes de radiación gamma en lugar de rayos X. Otro beneficio de los rayos gamma es que son emitidos espontáneamente, por lo que no se requiere energía eléctrica. Un beneficio adicional de las fuentes de ¹⁹²Ir es que pueden alojarse en contenedores pequeños y relativamente livianos (~20 Kg).

La penetración de la radiación gamma depende de su longitud de onda y nivel de energía. Cuanto mayor es la energía de la fuente, mayor es la penetración de la radiación gamma.

Los sistemas pequeños y portátiles para las fuentes solo pueden penetrar alrededor de 30 cm de concreto. Se utilizan fuentes de mayor energía para elementos más grandes o como alternativa se aplica la modalidad “fuente interna” en la cual la fuente se introduce mediante pequeñas perforaciones en el interior de la estructura a medir y la placa se coloca en una superficie adyacente.

La Fig. 2 muestra ejemplos de gammagrafías de armaduras y de oquedades. La radiación transmitida a través de un elemento de mayor o menor densidad que el concreto, como es el caso de una barra de acero o una oquedad en el interior de una estructura de hormigón, generará una “sombra” de menor o mayor densidad fotográfica, respectivamente, que la densidad fotográfica de áreas vecinas en las que la radiación atraviesa sólo hormigón.

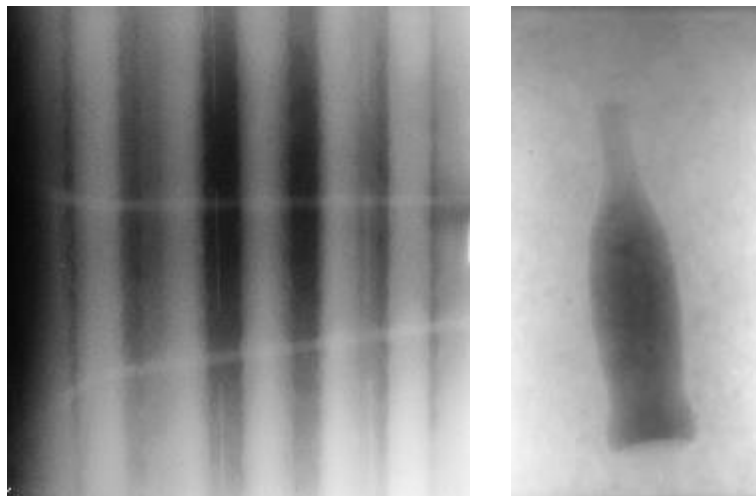


Figura 2. Gammagrafías de armaduras y de una oquedad simulada con una botella de gaseosa vacía dentro de un bloque de concreto.

Una barra de acero corroída se ve con una sección no uniforme que se proyecta en la imagen de la placa (Fig. 3). La gammagrafía de la izquierda muestra también un conducto eléctrico a la derecha de una barra corroída. Las líneas rojas en la parte inferior grafican la densidad fotográfica a lo largo de los cortes indicados en líneas azules en la radiografía. Un análisis de estas curvas permite medir la reducción de la sección debida a la corrosión.

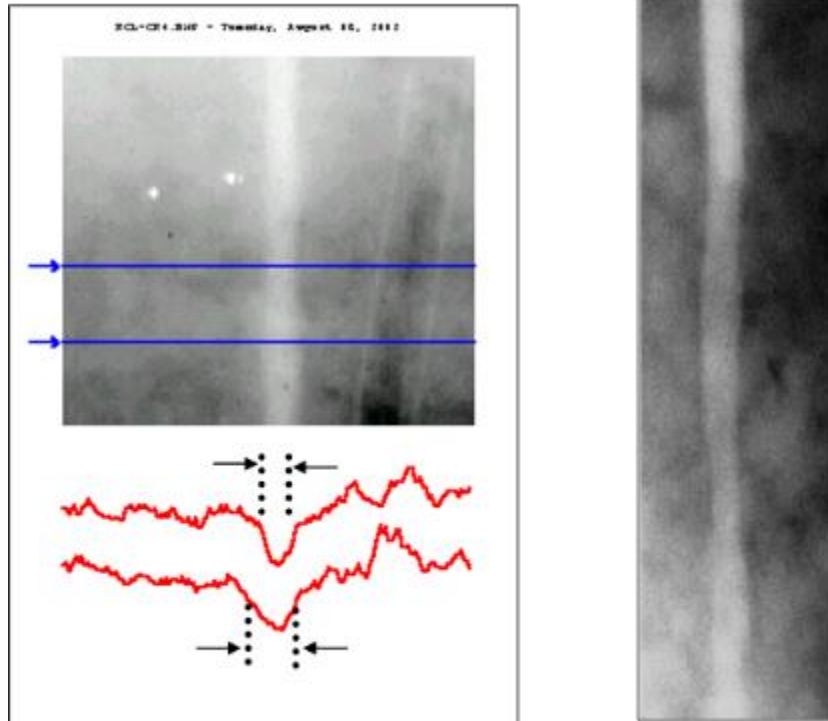


Figura 3. Gammagrafías de armaduras corroídas.

4. Adquisición de datos

Las placas gammagráficas, tanto las convencionales como las más modernas placas digitales, registran la radiación gamma que atravesó una muestra desde el lado opuesto proveniente de una fuente de ^{192}Ir , ^{137}Cs o ^{60}Co . Las placas convencionales deben ser reveladas después de su exposición, mientras que las placas digitales producen imágenes digitales que son leídas con un “scanner”, después de lo cual la placa se puede volver a utilizar. La eficiencia de las placas digitales es alrededor de 5 veces mayor que la de las placas convencionales. Generalmente la dimensión de las placas es de 35 x 43 cm.

Dependiendo del objetivo de la inspección (posición y diámetro de hierros, oquedades o corrosión) se pueden realizar una o más gammagrafías. Las gammagrafías simples permiten analizar existencia de oquedades y corrosión, en cambio la tomografía requiere la realización de dos o más gammagrafías, el “cruce” de la información obtenida permite determinar simultáneamente posición y diámetro de los hierros.

5. Procesamiento de datos

En el caso de la determinación de la posición y diámetro de los hierros embebidos en el H[°]A[°], se requiere para el cálculo tanto la información de la ubicación de la fuente radiactiva y las placas gammagráficas respecto de la pieza estudiada, como la información registrada en las imágenes obtenidas. El uso de referencias externas o bastidores específicamente diseñados permiten registrar en las imágenes gammagráficas información de la posición de la fuente radiactiva

respecto de la placa y de la propia placa respecto de la pieza de estudio. El cruce de toda esta información se realiza utilizando software específico (Fig. 4).

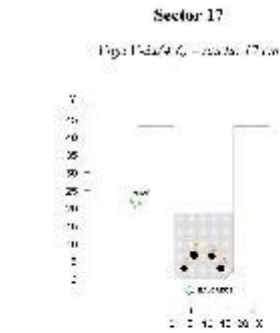
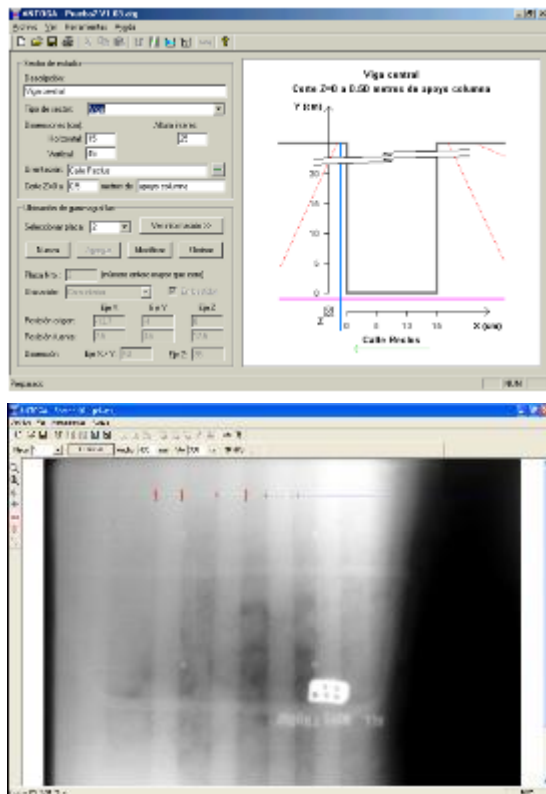


Tabla de posiciones y diámetros de barras principales

Barra	X (cm)	Y (cm)	Ø (mm)
1	2.4	2.9	3
2	8.4	6.6	10
3	13.6	6.5	8
4	18.8	3	10

- La tabla muestra valores correspondientes al centro del sector.
- Las barras (1 y 4) principales (as Ø = 8 y Ø = 10), espesores 3 y 2 cm.
- Sin estribos, sero mínimo 12 cm.
- Un metro regular. La armadura de muestra defectos por ser varios cuadrantes.

Figura 4. Software de reconstrucción tomográfica. Arriba a la izquierda: pantalla de ingreso de información. Abajo a la izquierda: pantalla de obtención de información de la imagen gammagráfica. A la derecha: hoja de informe en forma gráfica y numérica.

La Fig.5 muestra el detalle obtenido en la inspección realizada con el método radiográfico en una viga postesada. La banda horizontal cerca del centro es un cable de postesado. A la derecha se muestra la ampliación de una porción de la imagen. El resto de las líneas blancas de la imagen corresponden a barras de refuerzo ordinarias (el rectángulo blanco es una referencia externa). Esta figura muestra que este método es una herramienta apropiada para estudiar el perfil de los cables y conductos en vigas de H°A° pos y pre-tensadas. La determinación cuantitativa de los defectos de perfiles se discute más abajo.

En el caso del método de la gammagrafía con placas convencionales, la información registrada es la densidad fotográfica en cada punto de la placa. La densidad se determina midiendo la intensidad de la luz transmitida a través de la placa cuando es iluminada del lado opuesto por una fuente de luz de intensidad constante y uniforme. La densidad es comparada con el valor esperado para una dada configuración usando un ajuste por cuadrados mínimos para determinar el perfil del tendón y la naturaleza y extensión del defecto del mismo como se ilustra en la Fig. 5. En el caso de las placas digitales, el nivel de gris de cada pixel es equivalente a la densidad.

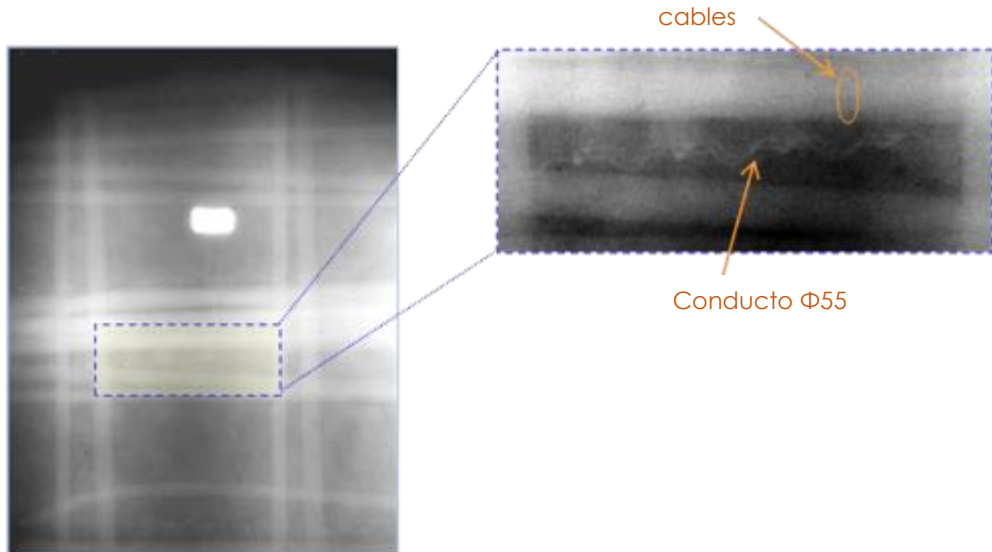


Figura 5. Radiografía. Ejemplo de viga postesada (Ponte NS da Guía, Portugal, en colaboración con Univ. de Oporto).

6. Interpretación de los datos

La Fig. 6 muestra un ejemplo de la evaluación del perfil de tendones postesados en una viga de concreto usando placas radiográficas. La viga contiene dos conductos, uno de ellos con un severo defecto de llenado. La interpretación de los datos involucra examinar la densidad $D(x_o, z)$, donde x_o es la coordenada x de la línea de puntos vertical en la radiografía de la Fig. 6. Los puntos de datos en el gráfico de la derecha de la figura 6 son los valores medidos de $D(x_o, z)$.

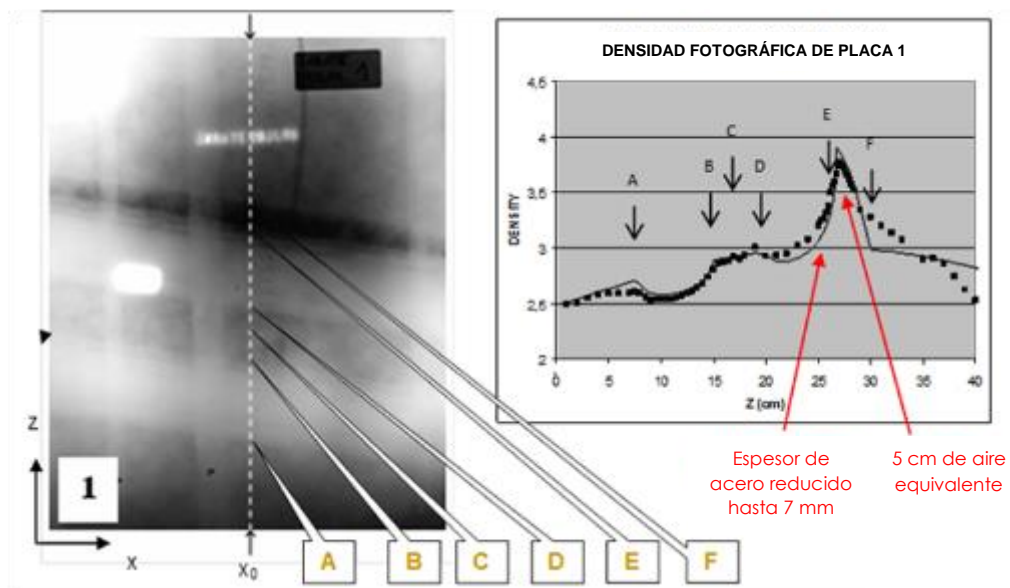


Figura 6. Interpretación de gammagrafía de una viga postensada mostrando defectos de llenado.

En la figura de la derecha, los valles en los intervalos A-B y D-E corresponden a los cables. El “pico” de densidad, corresponde a la banda oscura encima del cable en el conducto superior, y es la manifestación de una oquedad en el conducto. La línea fina en el gráfico de la derecha corresponde a los valores de densidad obtenidos a través de un proceso de ajuste matemático a los datos medidos.

Los valores en rojo fueron fijados para ajustar los datos. Las posiciones y diámetros de los cables y conductos se obtuvieron de los datos medidos y por análisis tomográfico. El valor obtenido de la densidad de la zona de oquedad determina una profundidad del vacío de 5 cm de equivalente aire, y la pequeña diferencia entre la densidad D medida y calculada en el intervalo D-E puede ser una indicación de que la sección del cable esté reducida hasta 7 mm aproximadamente.

7. Ventajas

- Produce resultados con calidad “fotográfica”, precisa localización y diámetro de las armaduras, detección de corrosión y detección de oquedades y defectos de llenado en vainas de postensado.
- Sistemas pequeños y portátiles en el caso de fuentes de ^{192}Ir .
- Algunos sistemas de fuentes, como los empleados con ^{192}Ir , son fácilmente blindables y pueden usarse en el campo sin tener que interrumpir el tráfico o causar molestias al público en general.

8. Limitaciones

- Requiere medidas de seguridad por la radiación gamma. La exposición del público a la radiación debe ser siempre debajo de los límites indicados por la Autoridad Regulatoria Nuclear y las normas vigentes.
- Los sistemas pequeños y portátiles para las fuentes solo pueden penetrar alrededor de 30 cm de concreto, lo que requiere el uso de fuentes de mayor energía para elementos más grandes o la alternativa de la modalidad “fuente interna”.

9. Referencias

1. Pimentel, M., et. al., "Gamma-Ray Inspection of Post Tensioning Cables in a Concrete Bridge", Structural Faults and Repair 2010, 13th International Conference, Edinburgh, June 2010.
2. Mariscotti, M.A.J., et. al., "Gamma-Ray Imaging for Void and Corrosion Assesment", *Concrete International*, Vol. 31, No. 11, November 2009, pp.48-53.
3. Los datos mostrados en este artículo corresponden a estudios llevados a cabo por THASA (www.thasa.com).