

La radiación beta y X en la obtención de filigranas



Por José Campos Gutiérrez

Numeración Decimal:
676.014.01

Ref.: FILIGRANAS
REPRODUCCIÓN
RADIACIONES BETA
RADIACIONES X
HISTORIA DEL PAPEL

RESUMEN.—El interés en el registro de las filigranas de los papeles que contienen dibujos y documentos de interés histórico o artístico aumenta continuamente. Por ello se están desarrollando técnicas que permitan una obtención precisa de dichas filigranas, aún en condiciones de extrema dificultad, papeles superpuestos, interposición de cuerpos extraños, etc... Los métodos más prometedores están basados en la electrografía y la betagrafía. Ambas consisten en medir los cambios en la atenuación de un flujo de electrones debidos a la diferencia de grosor del material en estudio.

RESUMÉ.—L'intérêt dans le registre des filigranes des papiers qui renferment dessins et documents d'intérêt historique ou artistique augmente continûment. Pour la ils se sont développent des techniques qui permettent une obtention précise de dites filigranes, même en conditions de extrême difficulté, papiers superposés, interposition de corps étrangers, etc... Les méthodes les plus prometteurs sont basés dans la électrographie et la bêtagraphie. Les deux consistent en mesurer les changes dans l'atténuation d'un flux d'électrons dûs à la différence de la grosseur du matériel en étude.

SUMMARY.—Interest on the search of rubber marks in papers with drawings and documents with an historic or artistic interest is increasing every day. Due that, technics to get accurate reproductions, even in very difficult conditions, such as superposed papers, strange substances, etc... are being developed. The most promising methods are based on the electrography and bethagraphy. Both of them measure changes in the decrease of a flow of electrons, due to the different thickness of the material studied.

ZUSAMMENFASSUNG.—Das Interesse an der Registrierung der Wasserzeichen von Papieren, die historisch bzw. künstlerisch interessante Zeichnungen und Dokumente

enthalten, nimmt ständig zu. Daher werden Techniken entwickelt, die es gestatten, die besagten Wasserzeichen, wenn auch unter extrem schwierigen Bedingungen, wie z.B. übereinanderliegende Papiere, Vorhandensein von Fremdkörpern usw., präzise zu erhalten. Die erfolgversprechendsten Methoden basieren auf der Elektrografie und Betagrafie. Bei beiden Methoden werden die Änderungen in der Verminderung eines Elektronenflusses als Folge des Dickenunterschieds des untersuchten Materials gemessen.

Como es bien sabido la filigrana de un papel consiste en un dibujo visible por transparencia, que es característico del fabricante y de la época en que fue hecho. En su estudio existe un interés creciente tanto por parte de historiadores del arte como por los restauradores. Lo anterior ha dado lugar a que la mayoría de los grandes museos mundiales están dedicando un esfuerzo a la clasificación de las filigranas de sus colecciones de dibujos en papel. Dado el gran número de dichas filigranas que se han de estudiar es preciso disponer de métodos precisos y rápidos para realizar esta operación.

La filigrana clásica se caracteriza por una disminución del espesor del papel, según una figura prefijada durante el proceso de fabricación artesanal. La filigrana moderna se suele obtener por impresión.

Los métodos más usados para la obtención de filigranas son los clásicos de calco y fotografía que, no obstante sus inconvenientes, mantendrán siempre su vigencia puesto que son adecuados en muchos casos y ciertos dibujos y documentos muy delicados no admiten ni siquiera un tratamiento semiautomático como los referidos seguidamente.

Las técnicas especiales que se utilizan actualmente para el registro de filigranas son la radiografía por rayos X, la electrografía y la betagrafia.

Los rayos X sufren una diferencia de atenuación según el espesor de materia atravesada. Esta atenuación es exponencial, es decir la atenuación relativa del haz correspondiente a un mismo incremento del espesor de materia permanece constante. Si se elige la energía de los rayos X de forma que el coeficiente de atenuación sea adecuado puede dar imágenes, aunque usualmente con poco contraste, que se pueden mejorar por técnicas de tratamiento de imagen. Como es bien sabido, la densidad óptica de una placa impresionada (logaritmo del inverso de su transmisión) es proporcional a la intensidad de la radiación incidente para un mismo tiempo de exposición, en el margen comprendido entre el umbral de la placa y su saturación. Es evidente que si la intensidad de la radiación incidente es tan alta como para casi saturar la placa, más difícilmente observable serán los detalles que indican menor absorción. En la práctica, puede ser difícil ajustar la intensidad y la energía de los rayos X adecuadas para cada tipo de papel de acuerdo con su espesor y textura, salvo en casos muy excepcionales.

Los resultados de más calidad se obtienen empleando la atenuación de electrones al atravesar la materia mediante las mencionadas electrografía y la betagrafía.

La electrografía es una radiografía por electrones en la que se usan los electrones secundarios producidos por la incidencia de un haz de rayos X sobre una hoja metálica. La energía de los electrones emitidos varía con la longitud de onda de los rayos X empleados. Su distribución energética es continua y relativamente complicada, pues la radiación X incidente tiene una parte continua y otra característica. La radiación continua tiene su máximo de energía dado por la tensión de funcionamiento del emisor de rayos X, y la energía de las líneas de emisión característica es menor a dicho máximo. Por otra parte, los procesos que dan lugar a los electrones secundarios son el efecto fotoeléctrico y el Compton. En el primero, un fotón de la radiación incidente expulsa un electrón de un átomo de la hoja productora de estos electrones secundarios. La energía del electrón es igual a la del fotón incidente menos la de enlace del electrón (aproximadamente 90 keV para la capa más interna del plomo). El efecto Compton es una colisión elástica entre un fotón y un electrón libre, que resulta en una dispersión del fotón con pérdida de energía y en una ganancia por parte del electrón que sale dispersado hacia adelante. La energía máxima que puede adquirir el electrón es menor a la del fotón en el factor $:E/(E+0,256)$. Donde E es la energía del fotón expresada en MeV.

Si se interpone entre dichos electrones y una placa sensible un cierto espesor de materia, la intensidad de los electrones se atenúa y las diferencias de espesor producirán los correspondientes cambios en la atenuación que quedarán registrados en la placa. De este modo se obtiene la filigrana. El tiempo de impresión es del orden de pocos minutos.

Este método tiene mucho en común con el betagráfico del que hablaremos a continuación, en particular los electrones emitidos no son monoenergéticos y el registro de la filigrana se obtiene, situando el papel entre una fuente plana y homogénea emisora beta y la correspondiente placa. Normalmente la obtención de la imagen necesita un tiempo del orden de una hora.

La radiografía por electrones tiene como ventajas fundamentales en estos estudios la rapidez con la que se puede obtener una imagen y la posibilidad de cambiar el espectro de energía de los electrones. Sus principales inconvenientes son la necesidad de usar una instalación costosa, relativamente voluminosa y sujeta a normas administrativas. Por otra parte, las imágenes que se obtienen pueden estar bien contrastadas, aunque hay que prestar mucha atención a la eliminación de la radiación X remanente.

Hasta el momento los mejores resultados en la obtención de filigranas parecen ser los obtenidos por betagrafía. Este método proporciona las imágenes más contrastadas, requiriéndose muy poco tratamiento posterior para su uso práctico. Las instalaciones ocupan un espacio mínimo, son de costo muy modesto y no requieren mantenimiento, aunque, dependiendo de la actividad de la fuente emisora usada, sí está sujeta a normas administrativas.

No obstante su uso no entraña riesgo con una adecuada manipulación, dada la preparación de las fuentes que se emplean, pero las reglas de uso generales tienen el espíritu lógico de controlar la dispersión de isótopos radiactivos. Tema éste en el que además la opinión pública está muy sensibilizada y en mi opinión poco informada.

Por ello, antes de entrar en las peculiaridades de los procesos de atenuación de la radiación de electrones por la materia resumiremos en la Tabla I, los principales isótopos utilizados y sus características principales. Dichos isótopos se caracterizan por presentar emisión beta menos pura o muy débil emisión gamma.

TABLA I

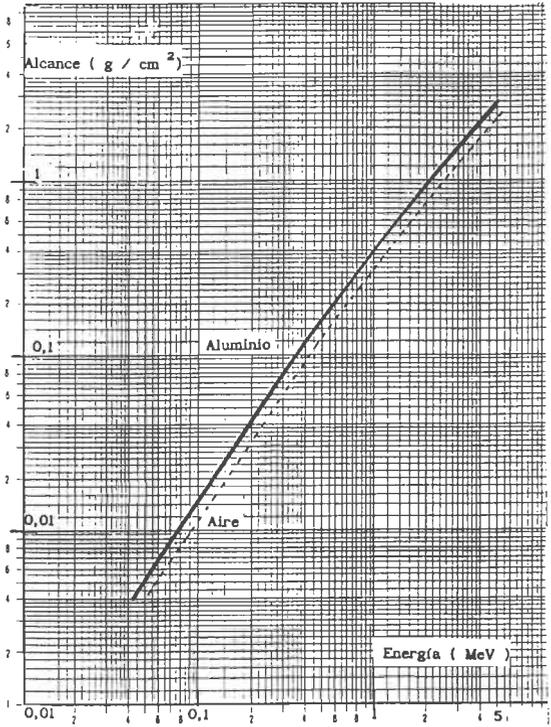
ISOTOPO	Energía máxima (MeV)	Período (años)	Actividad exenta (Bq)
^{14}C	0,156	5730	$5 \cdot 10^5$
^{147}Pm	0,224 + γ débil	2,62	$5 \cdot 10^5$
^{85}Kr	0,687 + γ débil	10,72	$5 \cdot 10^6$
^{204}Tl	0,763	3,78	$5 \cdot 10^5$
^{90}Sr	2,28	29	$5 \cdot 10^4$

La emisión beta menos tiene lugar cuando un núcleo de un determinado isótopo transforma uno de sus neutrones en un protón, aumentando su número atómico en una unidad y emitiendo un electrón y un antineutrino. La energía disponible en el proceso la comparten el electrón y el antineutrino en proporciones no fijas de modo que el espectro de los electrones es continuo, estando caracterizado por la distribución de energías y por su energía máxima.

El paso de los electrones por la materia difiere del de otras partículas cargadas más pesadas de un modo cualitativo. Su ligereza hace que los cambios en dirección y velocidad en sus colisiones con los átomos puedan ser grandes. Esto hace que el electrón en la materia no se mueva en línea recta, recorriendo un camino relativamente complejo y atenuándose su energía al penetrar en ella. Los electrones de energías bajas pierden su energía fundamentalmente por ionización del medio.

Si disponemos de un haz monoenergético, vemos que como resultado de estos procesos, que son de naturaleza estadística, el haz se atenúa continuamente al interponer más espesor de materia, hasta lograr su anulación total. A este espesor se le denomina alcance y depende de la energía y de la composición del material atenuador. Cuando el espectro energético de los electrones es continuo el alcance corresponde a su energía máxima.

Al realizar una betagrafía debemos asegurarnos de que el espesor del material es sensiblemente inferior al alcance. En la figura adjunta se ha representado el alcance en función de la energía máxima. El espesor de materia se expresa normalmente en gramos por centímetro cuadrado, de esta forma se obtienen relaciones con poca dependencia del material. Nótese en la figura la similitud de resultados para aire y para aluminio. En la práctica se pueden



aplicar los resultados de este último elemento al papel. Por ejemplo, el resultado para el alcance en papel de la radiación de 0,156 MeV. del carbono catorce es de 0,028 g/(cm²), valor muy próximo al dado por la gráfica. Este isótopo es apropiado para papel de espesores corrientes.

En la Tabla I se dan isótopos con los que se pueden obtener betagrafías en espesores que pueden llegar al gramo por centímetro cuadrado. Estimamos que en los espesores del orden de décimas de gramo por centímetro cuadrado este método puede ser de gran utilidad.