

PRODUCCION DE CENTROS DE COLOR EN EL TOPACIO NATURAL IRRADIADO CON NEUTRONES EN EL NUCLEO DEL REACTOR RP-10

Gómez J.⁽¹⁾ JJGB76@yahoo.com; Solís J.^(1,2) jsolis@uni.edu.pe;
Parreño F.⁽¹⁾ fparreno@ipen.gob.pe; Lazaro G.⁽¹⁾ glazaro@ipen.gob.pe;
Vela M.⁽¹⁾ mvela@ipen.gob.pe

(1) Instituto Peruano de Energía Nuclear / Lima, Perú

(2) Facultad de Ciencias – Universidad Nacional de Ingeniería / Lima, Perú

RESUMEN

Se obtuvieron cristales de topacio azul y celeste, irradiando cristales de topacio incoloros, con neutrones dentro del núcleo del reactor RP-10. La coloración depende del flujo de neutrones, tiempo de irradiación y tipo de can utilizado.

1. INTRODUCCIÓN

Los cristales de topacio tienen una estructura cristalina ortorrómbica. El topacio natural está compuesto de fluorosilicato de aluminio con una composición general de $\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{F},\text{HO})_2$ [1]; en la naturaleza la mayoría de los topacios son incoloros. Pueden producirse centros de color en un topacio mediante: (a) la irradiación con rayos X, gamma, neutrones, electrones o ultra violeta (UV); (b) el calentamiento de la gema en un vapor de haluro alcalino de un metal alcalino. Estos tratamientos experimentales proporcionan una manera artificial de colorear las gemas [2, 3]. El precio de las gemas se incrementa por el color de las mismas, es decir se le da un valor agregado.

En nuestro caso particular, el mecanismo de producción de centros de color consistió en la irradiación de los topacios con neutrones epitérmicos, provenientes del núcleo del reactor RP-10, con la finalidad de obtener coloraciones: azul, celeste y verde claro. Las radiaciones ionizantes suministran la energía necesaria para que los electrones, originalmente ligados a los átomos del cristal, puedan ocupar niveles de energía que se encuentran dentro de la banda prohibida, produciendo defectos en el cristal de topacio, creando así, centros de color. El estudio de la coloración de las gemas se realizó por espectroscopia visible. Las bandas de absorción de energía en el rango visible (300 – 800 nm.) son producidos por estos centros de color en el topacio natural [4].

En la sección 2 se presenta el procedimiento experimental de la producción de centros de color en los cristales de topacio. Se describe el diseño de los diferentes los porta muestras (canes) utilizados; la ubicación en el núcleo del reactor para la búsqueda de un flujo de neutrones óptimo y tiempos de irradiación y la descripción de la espectroscopia visible. En la sección 3 se presentan los resultados de la absorción óptica de los cristales de topacio coloreados artificialmente.

2. EXPERIMENTAL

Los cristales de topacio natural incoloro utilizados tienen unas dimensiones aproximadas de 6.0 x 8.0 x 4.0 mm y fueron irradiados en diferentes posiciones del núcleo del reactor peruano RP-10, con tiempos de irradiación entre 8 y 25 horas, y flujos neutrónicos entre 10^{12} y 10^{14} neutrones/cm².s.

2.1 Porta muestras (“Canes”) para la irradiación de los Cristales de Topacio

Se usaron dos tipos de canes, uno que es de aluminio puro (can normal), el cual es usado convencionalmente en la producción de radioisótopos (Figura 1a); y otro que se muestra en la Figura 1b, can de prueba, que está construido de aluminio y una película de 1 mm de Cadmio. Este último fue diseñado especialmente para dar paso solamente a los neutrones epitérmicos.

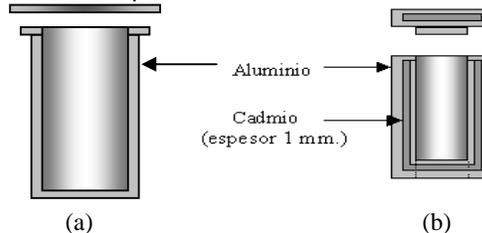


Figura 1. Esquema del can normal (a) y can de prueba (b).

Ambos tipos de canes, conteniendo en su interior un promedio de 2 a 3 cristales de topacio, son sellados e introducidos en un dispositivo como el que se observa en la Figura 2. La posición del can se especifica por xn o yn , donde n es el número de la posición en que se encuentra. Este portacanes es posteriormente insertado en una caja de irradiación y colocada en una de las posiciones de irradiación del núcleo (Figura 3).

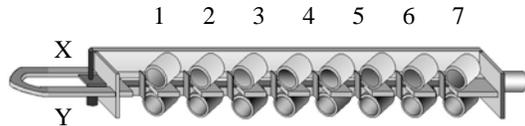


Figura 2. Portacanes de las Cajas de Irradiación.

2.2 Irradiación de los Cristales de Topacio en el Núcleo del Reactor RP-10

En la Figura 3, se tiene el esquema del núcleo del reactor RP-10 visto desde arriba, donde podemos ubicar principalmente las posiciones de las diferentes cajas de irradiación utilizadas.

Para la medición del flujo neutrónico epitérmico y térmico se utilizó hojuelas de oro, mientras que para el flujo epitérmico se colocaron hojuelas de oro con un recubrimiento de 1 mm de Cadmio; estas hojuelas se colocaron juntamente con las gemas.

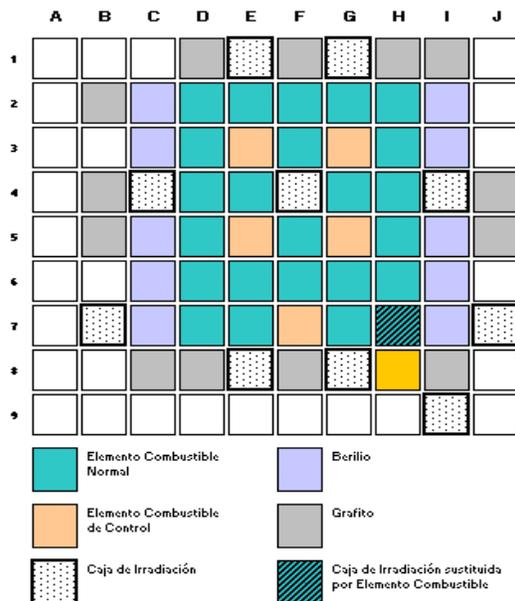


Figura 3. Esquema del núcleo del reactor RP-10 (vista superior).

En 1996 se realizó la primera irradiación de cristales de topacio en la posición H7/4x [5], esta caja de irradiación fue reemplazada por un elemento combustible en 1997. Se utilizaron posiciones en el núcleo con los mayores flujos neutrónicos como el E1/(4x, 4y) y G1/(4x, 5x), según las mediciones de la razón del flujo neutrónico epitérmico y térmico, y la razón de cadmio [6,7]. La posición I9/(4x, 4y) fue escogida porque esta alejada del núcleo y tiene un menor flujo de neutrones.

2.3 Espectroscopia de Absorción Óptica

El color que se ve de un material depende de la radiación visible que absorbe (Tabla 1). El estudio de la absorción óptica en función de la longitud de onda de la gema nos da una medida más precisa del color de la misma que el ojo humano. La absorbancia en función de la longitud de onda se midió exponiendo el cristal de topacio a un haz de radiación monocromática, en un intervalo aproximado de longitudes de onda, λ , de 330 a 800 nm. Se usó como referencia un topacio sin irradiar. Las mediciones se hicieron con un monocromador Optometrics, modelo 2/RS-232.

Tabla 1. Color observado y absorbido por un material.

λ (nm)	Color Absorbido	Color Observado
380 – 420	Violeta	Verde-Amarillo
420 – 440	Violeta-Azul	Amarillo
440 – 470	Azul	Anaranjado
470 – 500	Azul-Verde	Rojo
500 – 520	Verde	Púrpura
520 – 550	Amarillo-Verde	Violeta
550 – 580	Amarillo	Violeta-Azul
580 – 620	Anaranjado	Azul
620 – 680	Rojo	Azul-Verde
680 – 780	Púrpura	Verde

3. RESULTADOS

Se realizó una evaluación en las posiciones del núcleo del reactor RP-10 mediante la irradiación de ambos tipos de canes, donde se midió la razón de cadmio, que es el cociente entre las actividades del oro con y sin recubrimiento de Cd. En el can normal de Aluminio se calculó la razón del flujo neutrónico epitérmico y térmico. En la Tabla 2 se tiene las razones de cadmio medida en ambos tipos de canes utilizados. En

los canes de prueba se tiene que la mayoría de los neutrones son epitérmicos.

La Tabla 3 muestra los parámetros de irradiación en el núcleo del reactor RP-10 de los diferentes cristales topacios estudiados. En esta tabla se encuentran los 4 diferentes grupos de irradiación, en cada grupo fueron irradiadas entre 3 y 24 gemas. Los parámetros de irradiación fueron: la posición en el núcleo de las cajas de irradiación convenientes, el intervalo de tiempo y de potencia de irradiación en el núcleo del reactor RP-10, y la razón de los flujos neutrónicos epitérmicos y térmicos.

Tabla 2. Razón de Cadmio en las posiciones de irradiación.

Posición en el Núcleo	Can normal	Can de prueba
H7-4x	3.81	1,055
I9-3y	9.72	1,24
G1-4x	3.68	1,051
E1-4x	3.58	1,048

Tabla 3. Parámetros de irradiación en las posiciones del núcleo utilizadas.

Posición en el núcleo	T irrad. (h)	Potencia (MW)	ϕ_{epi}/ϕ_{th} ($\times 10^{-2}$)
H7	8	7	4,71
I9	16 – 25	7 – 10	1,38
G1	12 – 16	7 – 10	3,76
E1	12	7.5	5,40

En la Tabla 4 se muestra los colores del topacio observados a simple vista después de la irradiación y las diferentes condiciones de irradiación utilizadas en el núcleo del reactor.

Tabla 4. Colores observados después de irradiar los topacios en el núcleo del reactor RP-10.

Topacios	Posición en el núcleo	Potencia (MW)	T irrad. (h)	Color observado
t1(0796) ^b	H-7/4x	7,0	8	Azul
t2(0796) ^a	H-7/4x	7,0	8	Azul
t3(0796) ^a	H-7/4x	7,0	8	Azul
t1-2(0102) ^a	I-9/4x	7,5	25	Celeste
t2-2(2601) ^a	I-9/4y	10,0	16	Celeste
t1-1(2302) ^a	G-1/4x	7,0	16	Azul
t1-2(2302) ^a	G-1/4x	7,0	16	Azul
t2-1(0604) ^b	G-1/5x	7,5	16	Azul
t2-2(0604) ^b	G-1/5x	7,5	16	azul
t1-1(0106) ^b	E-1/4x	7,5	12	Azul
t2-2(0106) ^b	E-1/4y	7,5	12	Azul
t2-4(0106) ^b	E-1/4y	7,5	12	Azul

a. Irradiados en canes de prueba.

b. Irradiados en canes normales.

En las Figuras 4, 5, 6 y 7 se observan los espectros de absorción de los cristales de topacio irradiados que corresponden a las cajas de irradiación H7, I9, G1 y E1, respectivamente. Estos espectros tienen como referencia un cristal de topacio natural incoloro.

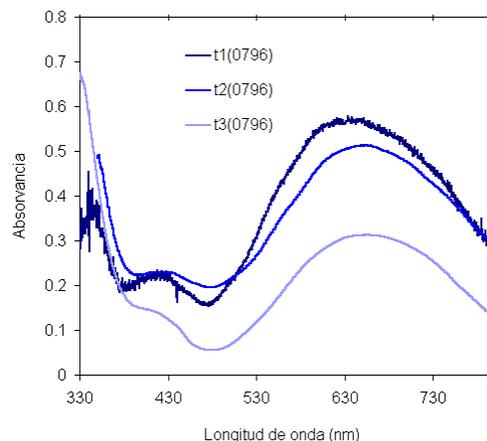


Figura 4. Espectro de absorción de los cristales de topacio irradiados en la posición H7 del núcleo del reactor RP-10.

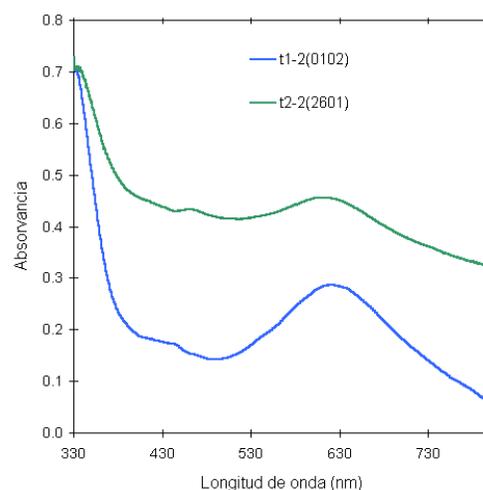


Figura 5. Espectro de absorción de los cristales de topacio irradiados en la posición I9 del núcleo del reactor RP-10.

El color de los cristales es complementario al color absorbido, como se muestra en la Tabla 1. La variación de los picos de absorción se debe a las diferentes intensidades del tono de un color, estas diferencias se observaron en los 4 grupos de irradiación. Debido a que las caras de los topacios no permiten medir bien sus espectros de absorción se definió un parámetro como la diferencia de absorción, que es la diferencia del valor de la máxima absorción menos el valor que tiene en 500 nm. Se

obtuvieron cristales de topacio azul y celeste, estos son detallados en la Tabla 5. En la irradiación realizada en la caja I9 (Figura 5) se obtuvieron bandas de poca intensidad definiendo como celeste (semitransparentes), mientras que la irradiación en las cajas H7, G1 y E1 (Figuras 4, 6 y 7) se obtienen bandas mas definidos mostrando colores de tonos bastante intensos.

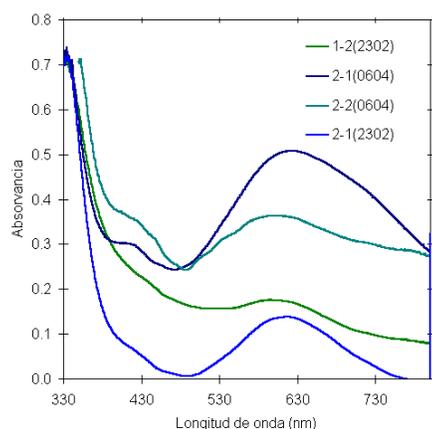


Figura 6. Espectro de absorción cristales de topacio irradiados en la posición G1 del núcleo del reactor RP-10.

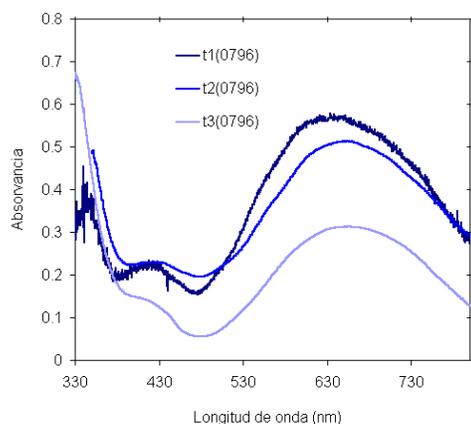


Figura 7. Espectro de absorción de cristales de topacio irradiados en la posición E1 del núcleo del reactor RP-10.

En la Tabla 5 se detallan picos de la banda de absorción cuantificados en las longitudes de onda que se encuentran dentro del espectro visible. La diferencia que existe entre las absorbancias por cada cristal de topacio irradiado nos entrega un valor que servirá para diferenciar entre las intensidades de los tonos claros y oscuros del color obtenido por cada cristal de topacio irradiado, además del cristal de topacio natural en el que observa que la longitud

de onda de absorción esta dentro del intervalo de los cristales de topacio irradiados de color celeste.

Según la Tabla 5, las diferentes intensidades de tonos de coloración por irradiación en el núcleo del reactor RP-10 de los cristales de topacio son dadas por el parámetro de la diferencia de las absorbancias máximas y mínimas de la absorción de la luz. Las intensidades de tonos claros están en un rango en diferencia de absorbancia óptica entre 0,02 y 0,14, mientras que la intensidad de los tonos oscuros se encuentra en el rango de 0,15 y 0,45. Este parámetro se obtuvo luego de un estudio estadístico de los diferentes topacios irradiados en el núcleo del reactor RP-10.

Tabla 5. Intensidad de Colores Posibles de los Cristales de topacio Irradiados.

Topacios	λ (nm) Absorción	Dif. Absorbancia	Color
t1(0796)	635	0,42	azul
t2(0796)	655	0,32	azul
t3(0796)	660	0,26	azul
t1-2(0102)	620	0,14	celeste
t2-2(2601)	610	0,04	celeste
t1-1(2302)	610	0,22	azul
t1-2(2302)	600	0,02	celeste
t2-1(0604)	620	0,45	azul
t2-2(0604)	600	0,15	celeste
t1-1(0106)	620	0,52	azul
t2-2(0106)	600	0,11	celeste
t2-4(0106)	620	0,55	azul

Algunos de los topacios irradiados, además de uno sin irradiar, se pueden observar en la Figura 8.



Figura 8. Fotografía de (a) un topacio incoloro, antes de ser irradiado y topacio (b) azul, y (c) celeste obtenidos después de ser irradiados en el reactor RP-10.

4. CONCLUSIONES

Como se observan en algunos de los espectros, existe una diferencia con respecto a la intensidad de la banda de absorbancia, dando como resultado, intensidades en tonos de coloración como el azul y el celeste [8].

La irradiación de cristales de topacio con neutrones en el núcleo de un reactor nos proporciona una manera artificial de colorear estas gemas.

El can adecuado para producir centros de color, es el de prueba, hecho con Aluminio y Cadmio que no da una razón de cadmio de aproximadamente 1, lo que nos indica que la mayoría de neutrones que interactúan con el topacio son epitérmicos, produciéndose en forma mas eficiente centros de color.

Además las cajas de irradiación adecuada para estos ensayos serian E1 y G1 por tener una razón de flujos neutrónico epitérmico y térmico altos.

5. REFERENCIAS

- [1] Ivanov, Y., Velokoneva, E., Potras, J., Structural Science, Acta Crystallographic Section B, Vol. B54, p 774-781, December 1998.
- [2] Nassau, K., Gems Enhancement, Butterworth-Heinemann, p 45-46, London, 1984.
- [3] Castagnet, A.C., Rocca, H.C., Rostelato, M.E., Inducao de Cor, por Irradiacao, em Cristais de Topazio, Departamento de Aplicacoes na Engenharia e na industria, CNEN/SP IPEN 264, Outubro 1989.
- [4] Schulman, J.H., Compton, W.D., Color Centers in Solids, Pergamon Press, p 41, N.Y., 1963.
- [5] Nieto, M. y Bruna R. "Producción de topacios irradiados en el reactor RP-10", IPEN-DGI-GCAS, Julio-1996.
- [6] Bruna, R., Vela, M., Parreño, F., y Gomez, J. "Medición de Flujo Neutrónico Térmico y Epitérmico en las cajas de Irradiación del Núcleo 20, 21, 22 y 23 del Reactor RP-10". IPEN-DGI-CASE, Febrero-2000, Noviembre-2000, Julio-2001, Febrero-2002.

- [7] Gomez, J. y Parreño, F. "Medición de Flujos Térmico y Epitérmico en los diferentes niveles axiales de la caja de Irradiación G1 en el núcleo 22 de l reactor RP-10". IPEN-DGI-CASE, Junio-2001.
- [8] Marquez, C., Santos, L., Falcao, A.N., Silva, R.C., Alves, E., Luminescence Studies in Colour Centres Produced in Natural Topaz, Journal of Luminescence 87-89, p 583-585, 2000.