

RESISTENCIA A LA IRRADIACIÓN DE UN BLANCO DE PRODUCCIÓN DE NEUTRONES PARA LA TERAPIA POR CAPTURA NEUTRÓNICA EN BORO.

RESISTANCE TO IRRADIATION OF A NEUTRON PRODUCTION TARGET FOR BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY (BNCT).

M. Obligado^{1,2}, M. Repetto^{*1,2}, A.J. Kreiner^{1,4}, M.E. Debray^{1,3}, J.M. Kesque¹, L. Estrada¹, F. Johann¹, J. Davidson^{1,4}, M. Davidson^{1,4}.

¹Departamento de Física, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Av. Gral Paz 1499 (1650), San Martín, Buenos Aires, Argentina.

²Departamento de Física, FCEyN, Universidad de Buenos Aires. Intendente Güiraldes 2160 - Ciudad Universitaria. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

³Escuela de Ciencia y Tecnología. Universidad Nacional de Gral. San Martín (UNSAM), M. De Irigoyen 3100, 1650, San Martín, Buenos Aires, Argentina.

⁴CONICET, Av. Rivadavia 1917, (1033) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

e-mail: maricelrepetto@yahoo.com.ar, marobligado@yahoo.com.ar

La terapia por captura neutrónica en boro con aceleradores requiere de blancos de producción de neutrones y folias despojadoras de carga (*strippers*) que resistan la irradiación con haces intensos de protones. Dada la dificultad existente en el TANDAR para generar un haz de protones de baja energía (aprox. 1MeV) con alta intensidad (aprox. 3mA/cm²), para producir un daño equivalente se consideró preferible irradiar con un ión más pesado como es el oxígeno.

Se analizaron folias de Be irradiadas con ¹⁶O⁵⁺ a 42.5MeV en la línea del microhaz del acelerador TANDAR, logrando fluencias de $(1.26 \pm 0.33)10^{19}$ part/cm². El parámetro elegido para equiparar el daño producido con el que generaría un haz de protones es el dpa (desplazamientos por átomo). Este parámetro puede obtenerse a partir de un código de transporte de haces de partículas cargadas en materia. De esta forma, sabiendo con qué fluencia fue irradiado el Be con un dado ión es posible inferir cual será la fluencia equivalente de otro ión que representa dicha irradiación. Para evaluar el daño generado se analizaron las muestras con microscopio óptico y barrido electrónico (SEM). Con todos estos datos se analiza el daño superficial ocurrido en el Be y se estima su durabilidad. Finalmente, en base a las mediciones realizadas en TANDAR se obtienen 44 minutos como una cota inferior a la vida útil de un blanco de producción de neutrones de Be.

Palabras Claves: DPA, blanco, berilio, vacancias, BNCT.

The boron neutron capture therapy with accelerators requires of neutron production targets and strippers that resist irradiation with intense proton beams. Given the TANDAR's existent difficulty of generating proton beams with low energy (approx.1MeV), and high intensity (approx. 3mA/cm²) it was considered better to irradiate with a heavier ion like oxygen.

Be foils irradiated with ¹⁶O⁵⁺ of 42.5MeV in the microbeam line of TANDAR accelerator were analyzed, obtaining fluencies of $(1.26 \pm 0.33)10^{19}$ part/cm². The parameter selected for the damage comparison that a proton beam would generate is the dpa (displacements per atom). This parameter can be obtained from a transport code of charged particle beams in matter. This way, knowing with which fluence was irradiated the Be with a given ion, we would know which fluence equivalent for another ion, represents such irradiation. To examine the produced damage, samples with optical microscope and scanning electron microscope (SEM) were analyzed. With all these data, the produced superficial damage in Be is analyzed and its durability is estimated. Finally, based on the measures

A.J. Kreiner. Av. Gral Paz 1499 (1650), San Martín, Buenos Aires, Argentina.

taken in TANDAR, 44 minutes as a lower bound to the lifetime of a Be neutron production target is obtained.

Key Word : DPA, target, beryllium, vacancies, BNCT.

I. INTRODUCCIÓN

La terapia por captura neutrónica en boro es una radioterapia de segunda generación, “binaria” y selectiva, actualmente en etapa de investigación clínica. Se utiliza principalmente para el tratamiento de glioblastoma multiforme (un tipo de tumor cerebral muy agresivo e infiltrante) y melanoma, aunque se están estudiando otras aplicaciones. Requiere de la irradiación del paciente con neutrones epitérmicos (para tumores profundos). Estos son capturados por el boro, produciéndose la fisión del boro en ^4He y ^7Li . El alcance de los fragmentos es del orden del tamaño de una célula humana^[1].

Hasta la fecha, los tratamientos se han llevado a cabo en reactores. Para que BNCT se torne una modalidad de radioterapia aceptada y difundida, se deberán instalar fuentes apropiadas de neutrones en hospitales. En particular, los aceleradores de protones/deuterones de baja energía (aprox. 2.5MeV) y alta corriente (decenas de mA), constituyen una promesa como potenciales fuentes de neutrones en instalaciones dentro de hospitales, que permitan que BNCT sea un tratamiento efectivo para ciertos tipos de cáncer. Estas máquinas además tienen ventajas por sobre los reactores por el espectro de neutrones que producen^[2].

Este trabajo estudia la viabilidad de utilizar blancos de Be, y folias despojadoras de carga (*strippers*) de C en un acelerador para BNCT, pues la fluencia en una hora de tratamiento es elevada (aprox. 10^{19} part/cm²). Se busca analizar si dichas folias, en cualquiera de las dos funciones, pueden durar el tiempo suficiente bajo las condiciones de irradiación mencionadas. Además se analiza la bibliografía en búsqueda de qué tipo de folias es óptima para esta aplicación.

Se irradia un blanco grueso de Be con iones de ^{16}O en la línea del microhaz del acelerador TANDAR. No se utilizaron protones debido a la dificultad de generar en el TANDAR un haz de protones de baja energía (1MeV) y alta intensidad (aproximadamente 3mA/cm²). La elección del ^{16}O se debe a su buena transmisión y al alto daño que produce comparado con el H^+ , lo que permite acortar significativamente los tiempos de irradiación. Se estudia la resistencia a la irradiación del blanco y la posibilidad de utilizar ese resultado para ser aplicado a un blanco fino del mismo material, pero irradiado con otro haz a una energía distinta. El objetivo final es saber si ese material es apto para soportar la fluencia necesaria para el prototipo de acelerador a emplearse en BNCT.

Modelo propuesto para la estimación teórica de las vidas medias

El parámetro para medir el daño por radiación se denomina dpa^[4,5 y 6] (desplazamientos por átomo). Esta magnitud se refiere a la cantidad de átomos desplazados de la red en el volumen irradiado, por cada proyectil incidente. En este trabajo se lo utiliza para equiparar el daño producido en las irradiaciones con ^{16}O , o en las consultadas en la bibliografía (en el caso de los *strippers*), con el que generaría un haz de protones en las condiciones deseadas. La ecuación que se propone para calcular los dpa es

$$\frac{\Phi \cdot vac \cdot P_m}{\mu \cdot N_a} = \alpha, \quad (1)$$

donde *vac* es el número de vacancias por ion incidente calculadas con el programa SRIM 2008, P_m es el peso atómico del elemento en cuestión, μ es el espesor medido en g/cm² y N_a es número de Avogadro.

La ecuación 1 surge de considerar el número total de vacancias generadas por los iones incidentes sobre el número total de átomos del volumen irradiado en el blanco,

$$\alpha = \frac{vacancias}{particulasblanco} = \frac{vac\Phi A}{P_m \rho N_a t}, \quad (2)$$

donde t es el espesor en cm, A el área de la zona de irradiación y ρ la densidad medida en g/cm³. El numerador de la ecuación 2 coincide con el número de vacancias y el denominador con el número de partículas irradiadas en el blanco. Para deducir la ecuación 1 a partir de esta última basta usar que $\mu = \rho t$ y la masa de los iones del blanco es $P_m \cdot (N_a)^{-1}$.

Luego, la ecuación 1 permite deducir los dpa a partir del número de vacancias por ion incidente que da el SRIM. El factor $(\Phi P_m) \cdot (\mu N_a)^{-1}$ permite convertir las vacancias por ion incidente en las vacancias por átomo de la red (dpa).

Finalmente, para equiparar distintos haces se pueden igualar las expresiones de α para distintas condiciones de irradiación y de ellas extraer el valor de fluencia equivalente. Entonces, con la ecuación 1, se puede calcular la vida media de una folia, y, a partir de ella, estimar la vida útil para cada irradiación.

II. MÉTODOS

Se irradió una folia de Be laminado de $(25.4 \pm 1.3) \mu\text{m}$ de espesor en dos zonas bien definidas de la muestra, denominadas 1 y 2 (véase figura 1). La energía utilizada para el haz fue de 42.5 MeV. Fue elegida de modo que el haz atravesase la folia y a la vez fuese agresivo con la muestra. Los iones de ^{16}O luego de atravesar la folia de Be salen con una energía de $(1.5 \pm 0.2) \text{MeV}$ y con un estado de carga de 2.0 ± 0.5 .

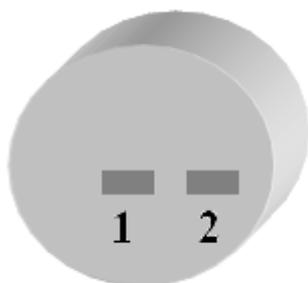


Figura 1: Esquema de la forma en la que se irradió la muestra.

La muestra fue adherida sobre un marco de acero inoxidable con pintura de Ag. En las dos etapas se empleó una frecuencia del imán de 3751 Hz, una tensión en el terminal de 7.06 MV. Como resultado, utilizando el programa Machine para los cálculos, obtenemos iones $^{16}\text{O}^{5+}$. Los colimadores de la línea se encontraban completamente abiertos para lograr la máxima corriente. Antes de comenzar la irradiación se verifica la transmisión y la estabilidad del haz registrando la corriente en la entrada I_e (cuando entra a la línea experimental) y la corriente en el fondo de la línea I_f (colectada por la copa de Faraday). Esto permite definir y calcular la transmisión T , siendo el cociente de la segunda con la primera. Este valor debe ser constante en una irradiación satisfactoria. La transmisión para cada caso, calculada como la pendiente del ajuste lineal de la curva del gráfico de I_f en función de I_e , se muestra en la tabla 1.

En las figuras 2A y 2B se muestra la corriente que atraviesa la muestra en función del tiempo de irradiación para ambas etapas.

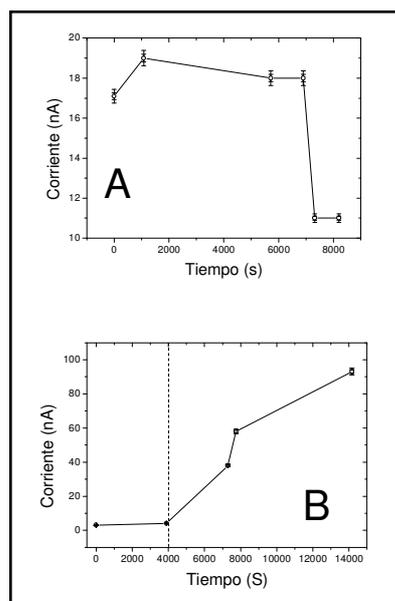


Figura 2: Corriente recibida por la muestra en función del tiempo para las etapas de irradiación 1 (A) y 2 (B). En la última línea punteada señala el cambio de stripper. En B, los errores se encuentran contenidos dentro del punto.

En la figura 2-A se observa un decaimiento abrupto en la corriente, que se debe al deterioro del *stripper* usado. La segunda etapa de irradiación empleaba el mismo *stripper* que la primera durante los primeros 4000 segundos, pero luego fue reemplazado con el consecuente aumento de corriente. Esto se observa en la figura 2-B donde el cambio de *stripper* está señalado con una línea punteada.

Para medir la carga colectada por la copa de Faraday, se utilizó un integrador ORTEC 439 que emite un pulso cada 10^{-10}C . En la tabla 1 se muestran los tiempos de irradiación y la cantidad de carga colectada.

Irradiación	Carga total	Tiempo	Transmisión
1	$(1396 \pm 20) \mu\text{C}$	$(8200 \pm 30) \text{s}$	0.033 ± 0.003
2	$(9295 \pm 150) \mu\text{C}$	$(14169 \pm 120) \text{s}$	0.038 ± 0.002

TABLA 1: Número de cuentas, tiempo y transmisión para cada etapa de irradiación.

Las marcas correspondientes a las irradiaciones en las zonas 1 y 2 eran visibles al ojo desnudo y claramente visibles ante una lupa, tanto en la zona de entrada del haz como en la de salida. Luego, la muestra fue observada en un microscopio óptico metalográfico OLYMPUS BX60M del Laboratorio de Metalografía del CAC (Centro Atómico Constituyentes), donde se fotografió cada mancha correspondiente a cada día de irradiación de frente y reverso (entrada y salida del haz).

Lo mismo se repitió con un microscopio de barrido electrónico^[7] (SEM) FEI QUANTA 200 con resolución máxima de 200000X, del Departamento de Materiales del CAC.

Se llevaron a cabo ensayos con microscopia electrónica de transmisión (TEM), pero dado el espesor de la muestra y las características del material (bajo número atómico) la transmisión no fue la suficiente para obtener una imagen satisfactoria con el microscopio utilizado. Con el mismo se llegó a 100kV y la muestra no resultó completamente opaca, pero no se alcanzó el contraste necesario para poder tomar la imagen y analizar los característicos anillos de difracción [8, 9 y 10].

Las densidades de potencias del microhaz son del orden de los MW/m². En este orden de magnitud, se corre el riesgo de que la temperatura de los blancos sea tal que estos lleguen a fundirse o se degraden los adhesivos utilizados. Para saber en qué rangos de potencia se puede utilizar el haz sin que ocurran estos problemas, se realizaron simulaciones con el programa COMSOL 3.4. El programa permite resolver la ecuación del calor en su forma más general para un blanco sólido, es decir, considerando el transporte de calor por conducción y radiación al ambiente. Se encuentra que, para todas las irradiaciones, la temperatura máxima alcanzada es 485.2K. La misma se halla muy por debajo de la temperatura de fusión del Be.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Imágenes obtenidas con el microscopio óptico

El microscopio empleado permite variar el aumento (de 5X hasta 100X) y el ángulo de incidencia de la luz, obteniéndose así los que se denomina fotografías de campo claro o de campo oscuro.

En las fotografías de campo claro, la luz polarizada incide normalmente, de manera que por reflexión se generan cambios de fase, produciéndose interferencia destructiva en determinadas zonas. El color de la imagen es consecuencia del polarizador que se encuentra a la salida de la lente^[11].

Las imágenes de campo claro obtenidas con el microscopio metalográfico se muestran en la figura 3 y 4.

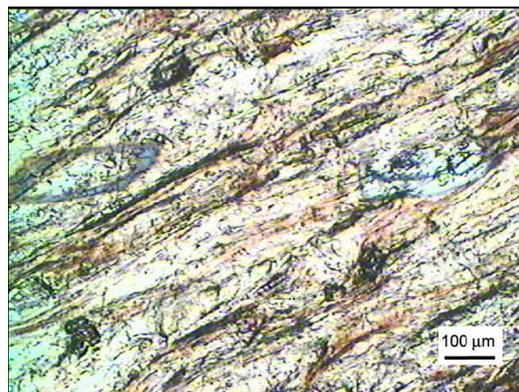


Figura 3: Imagen de campo claro obtenida con el microscopio óptico metalográfico del frente de la folia de Be (arriba) y su reverso (abajo).

La zona irradiada queda bien determinada por la diferencia de color, lo que permite ver alguna alteración en la forma de las vetas originales del laminado. Dicha alteración es lo que se considera daño sobre la muestra por ser el único parámetro estructural visible en las imágenes.

El cambio en el tono sobre la parte irradiada puede deberse a reacciones químicas producidas entre el óxido de Be^[12,13] que recubre la superficie del material, con el aire remanente en la cámara, beneficiadas por el aumento de la temperatura. En la figura 4 se muestran las manchas correspondientes a las zonas 1 y 2, desde el frente de la muestra, es decir, la zona de incidencia del haz.

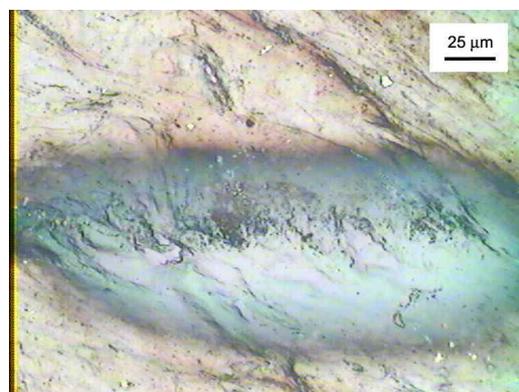
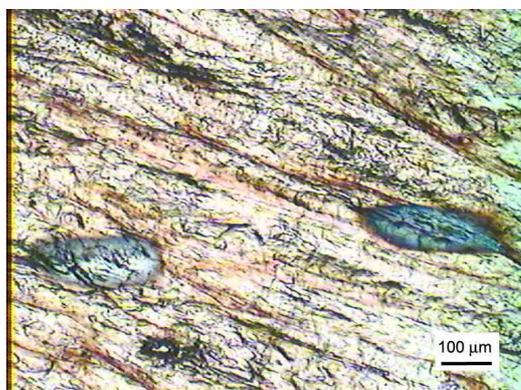


Figura 4: Imágenes del frente de la folia con un aumento de 20X correspondientes a la primer etapa (arriba) y segunda etapa (abajo).

No se aprecia la forma de la ruptura característica observada en la bibliografía [5, 6].

La zona que recibió más fluencia, es decir la correspondiente a la zona 2, se halla más oscurecida que las demás. El reverso de la folia muestra el mismo comportamiento descrito para la parte de adelante. El análisis de fotografías en campo oscuro no aporta mayor información.

Para calcular el tamaño de las marcas se importaron las fotos al programa de análisis gráfico ImageJ. En una imagen dada, este programa permite registrar el perfil de intensidades en función de la distancia (medida en pixeles) asignando un valor numérico a cada tono en la escala de grises. De este modo, se mide la distancia entre dos máximos de intensidad (borde de la zona oscurecida) y con la escala dada por el patrón de la imagen, puede transformarse a las unidades correspondientes.

Se midieron, para cada imagen de la zona irradiada, varios valores de largo y ancho y se calculó el promedio estadístico usual. Para la determinación del área irradiada, se empleó el mismo software, el cual mide contando los pixeles que constituyen la figura. Las longitudes son de aproximadamente 250µm de largo y 85µm de ancho. El área de las manchas oscila siempre entre 23000µm² y 24000µm². No se aprecian diferencias significativas entre las dimensiones de la marca en el anverso o reverso de la folia. Este dato es importante para posteriores análisis estructurales y térmicos.

Cálculo de la fluencia

El integrador utilizado, cuenta un pulso cada 10⁻¹⁰ C. Dada la cantidad de pulsos p , la fluencia se puede obtener mediante la ecuación 3.

$$\Phi = \frac{p \cdot 1 \cdot 10^{-10} C}{e \cdot E_q \cdot A} \quad (3)$$

Siendo e la carga de electrón, A el área de la muestra y E_q el número de cargas del ion. Las fluencias resultantes se pueden ver en la tabla 2.

Irradiación	Fluencia (part/cm ²)	I máx (nA)	I mín (nA)
1	(1.88±0.50)10 ¹⁷	19±2	11±1
2	(1.26±0.33)10 ¹⁹	93±6	3.0±0.5

TABLA 2: Fluencia y corrientes máximas y mínimas entregadas a la muestra en cada irradiación.

Los errores en las fluencias provienen fundamentalmente del estado de carga y el área.

El valor de fluencia de ruptura para el *stripper* resulta ser de (5.75±1.92)10¹⁷part/cm² Este resultado se

obtuvo utilizando la estimación del área de incidencia del haz realizada y tomando en cuenta que la energía incidente para el *stripper*, en un acelerador tipo Tandem, es la mitad de la que se toma para el blanco. Este valor de fluencia comparado con los hallados en la bibliografía es bajo y no toleraría más que unos minutos ante un haz de protones de 30mA (como el que emplearía el prototipo).

Imágenes obtenidas con el SEM

Las imágenes obtenidas con el microscopio de barrido electrónico se muestran a continuación (figuras 5 y 6).



Figura 5: Imagen tomada con un microscopio SEM de la muestra no irradiada. Se observan las vetas propias del laminado del material.

El haz de electrones del microscopio tiene una energía de 25keV y una corriente de 100nA^[7], lo cual se traduce en una potencia de 0.25MW/m². Las mismas se hayan inclusive por encima de las entregadas durante la irradiación (aunque por tiempos mucho menores), y se pudo apreciar que oscurecieron la muestra en la zona observada.

Observando las imágenes de las muestras sin irradiar, el material presenta grietas visibles en el orden de los 2µm aproximadamente, las cuales son producto del laminado del material.

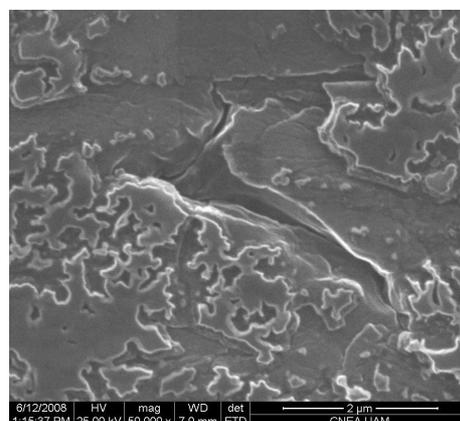


Figura 6: Imagen tomada por SEM del reverso de la folia irradiada en la primer etapa.

La grieta que se muestra en la figura 6 tiene dimensiones similares a las grietas del material sin irradiar.

En las imágenes de las muestras irradiadas, las grietas que aparecen no son muy distintas a las vistas previamente a la irradiación. Esto nos lleva a concluir que el Be no sufrió daño estructural significativo.

Los crecimientos, cúmulos o irregularidades observados en las imágenes del SEM de la folia irradiada pueden deberse a reacciones químicas producidas solamente en la superficie. Además, la forma de las irregularidades sugiere que pueden haber ocurrido reacciones espurias entre el aire remanente y suciedad en la muestra, por ejemplo grasa depositada debido al contacto con la misma. Estas hipótesis se verifica cuando se somete a la muestra a una limpieza química con HCl 0.3M durante 10 segundos, cuyos resultados pueden verse en la figura 7.

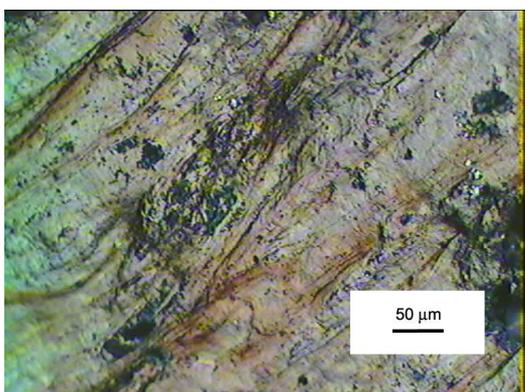


Figura 7: Imagen del microscopio óptico en campo claro de la muestra pulida químicamente, sólo se observa un vestigio de la marca original.

Como puede observarse, ya no se aprecia el oscurecimiento de la figura 4, sin haberse modificado significativamente las vetas originales. Esto lleva a concluir que tanto el oscurecimiento como las irregularidades desaparecen ante un decapado superficial.

Cálculo de las vidas medias

Dado que con las fluencias entregadas, la folia no manifestó ninguna clase de deterioro, se estimaron los tiempos equivalentes de irradiación empleando la ecuación de la equivalencia (ecuación 2) comparando el haz de $^{16}\text{O}^{5+}$ a 42.5MeV con 200vac/ión en una folia de 25.4 μm con la fluencia equivalente en un haz de H^+ , 1.2MeV sobre una folia de 5 μm . Para la zona 1 los tiempos estimados resultan (7 \pm 4)min y para la 2 (44 \pm 8)min.

Finalmente, se buscó en la bibliografía la existencia de *strippers* de carbono que tuviesen alta resistencia ante la irradiación con partículas cargadas. En la tabla 3 se muestra un resumen de los parámetros relevantes de las experiencias en cada trabajo. Cabe destacar, que las mediciones dadas por la bibliografía corresponden a promedios de varias mediciones con iguales parámetros, dada la característica estadística del fenómeno. Es por eso que, la medición de vida útil para el *stripper* roto durante la experiencia es útil para comparar el orden de magnitud, pero en ningún modo considerable un valor de vida media comparable a los de la bibliografía. Los parámetros de irradiación hallados en la misma, junto a fluencias de ruptura y vacancias por ión (calculadas mediante el SRIM 2008) para el haz correspondiente, como para el haz equivalente de H^+ de 1.2MeV se resumen en la tabla 3.

Haz	S^{8+}	H^-	Ne^+	Ne^+
	13MeV ^[13]	29MeV ^[19]	3.2MeV ²⁰	3.2MeV ^[21]
Fluencia de ruptura(part/c m ²)	1.34 10 ¹⁶	3.18 10 ²¹	4.06 10 ¹⁷	5.9 10 ¹⁸
Vac por ion	1.1	0.016	0.35	9.5
Vac por ion para haz de 1.2MeV de H^+	0.018	1	0.0305	0.0305
Diámetro spot (mm)	1.5	6	3.5	3.5
Espesor	19.75nm	4.5 μm	4.74nm	94.8nm
Corriente (mA)	0.3	200 a 550	2 a 3	3 a 4
Temperatura	No especificada	No especificada	No especificada	1000
Vida media	20 μAm	(40323 \pm 13399) μAh	(65 \pm 10)mC/cm ²	950mC/cm ²

TABLA 3: Resumen de los datos relevantes para *strippers* de C.

Utilizando la expresión 2 se calcula el tiempo que soportarían los distintos *strippers* y la fluencia equivalente en las condiciones de irradiación del prototipo. Las respectivas vidas medias para los *strippers* hallados en la bibliografía frente a un haz de 30mA de H^+ a 1.2MeV, suponiendo como área de incidencia una circunferencia de radio R se muestran en la tabla 4.

Haz	R=1cm	R=2cm	R=3cm
S^{8+} 13MeV[3]	(6 \pm 1)min	(1.3 \pm 0.2)h	(2.3 \pm 0.4)h
H^- 29 MeV [14]	(1.0 \pm 0.5)h	(4.5 \pm 1)h	(10 \pm 1)h
Ne^+ 3.2 MeV [15]	(2.3 \pm 1)h	(9.5 \pm 1.5)h	(20 \pm 2)h
Ne^+ 3.2 MeV [16]	(9 \pm 1)h	(34 \pm 1)h	(77 \pm 3)h

TABLA 4: Vidas medias alcanzadas por los *strippers* hallados en la bibliografía frente a un haz de 30mA de H^+ a 1.2MeV.

Se especificaron esos valores para R pues representan el tamaño estimado del haz de protones en el *stripper* del prototipo.

IV. CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se analizó la resistencia y durabilidad de blancos de Be y C sometidos a irradiación a los fines de ser usados en un prototipo de acelerador para BNCT. Para simular las condiciones del mismo, se utilizó la línea de microhaz del TANDAR. La misma permitió alcanzar densidades de corriente comparables a las del prototipo. Para comparar los resultados obtenidos con el ^{16}O con una irradiación equivalente de protones, se debió utilizar la ecuación 2. La ecuación deriva de un modelo simplificado, que no considera cuestiones como la temperatura de irradiación ni las propiedades cristalográficas de la folia (que diversos modelos extraídos de la bibliografía consideran relevantes). La misma sólo busca dar una expresión simple capaz de estimar, en orden de magnitud, la fluencia de ruptura.

Las folias resultantes de las irradiaciones no muestran daño significativo en su estructura pero sí dan varios elementos útiles para analizar y proyectar análisis más concretos a futuro. El uso del microscopio óptico metalográfico y del SEM permitieron ver que las folias probablemente sufrieron daño superficial, suposición que fue verificada posteriormente mediante un pulido químico.

En el futuro se emplearán folias finas de $3\mu\text{m}$, donde las técnicas de difracción de electrones y microscopía TEM permitirán observar el eventual daño estructural.

Finalmente, se analizaron varias fuentes bibliográficas en las que se examinan las vidas medias de *strippers* de carbono, confeccionados con distintos métodos. Dos tipos de folias resultan particularmente interesantes y capaces de cumplir los requisitos necesarios para hacer viable una aplicación médica del acelerador. Las primeras son las confeccionadas por el TRIUMF *Applied Technology Group*^[14] que soportarían aproximadamente 4 horas de irradiación. Las otras folias, confeccionadas por I. Sugai^[16], soportarían aproximadamente 9 horas de irradiación en el prototipo. La ruptura de un *stripper* permitió estimar las vidas medias de los utilizados en TANDAR, siendo mucho menores a las de la bibliografía. Se predice también que un blanco fino de Be, al ser irradiado por 30mA de H^+ , a 1.2MeV, dura, como mínimo, 44 minutos aproximadamente.

Luego, el uso de *strippers* sólidos de C y blancos de Be para BNCT en el prototipo proyectado parece viable. Se podrían alcanzar vidas medias para los *strippers* (que parecen ser el factor limitante por sobre las folias de Be) capaces de soportar por los menos una irradiación terapéutica, de aproximadamente una hora cada una.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos agradecer a José María Kesque por su colaboración, al personal del Centro de Información del CAC y a Hugo Grahmann del Laboratorio de Blancos de TANDAR.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. E. Blue, J.C. Yanch, "Accelerator-based Epithermal Neutron Sources for BNCT of Brain Tumors", *Journal of Neuron-Oncology*, 62(1), p.19(2003).
- [2] Burlon A.A., Kreiner A.J, Valda A.A, Minsky D.M., Somacal H.R, Debray M.E, Stoliar, P. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B*, 229 144-156(2005)
- [3]Maier-Komor P., Ranzinger E., Münzer H. *Nucl. Inst. and Meth* 200 5-11 (1982).
- [4] Koptelov E.A., Lebedev S.G. Panchenko V.N. *Nucl. Inst. and Meth.in Phys Res. A*256 247-250 (1987)
- [5] Chakin V. P., Posevin A. O., Kupriyanov I.B. *J. Nucl. Mater.*367-370 (2007)1377-1381
- [6] Chakin V.P. , Ye Ostrovsky, *Z. Jour. of Nucl. Mater.* 307–311 (2002) 657–663
- [7] Manual del usuario FEI QUANTA 200 FEG
- [8] D. Simeone A., Gosset D., Bechade J.L., Chevarier A. *Jour. of Nucl. Matter.* 300 (2002) 27–38
- [9] R. Devanathan, *Nuc Instand Methin Phys Res B* 127/128 (1997) 608-611
- [10] H. Damn, A. Dunlop, D. Lesueur *Nucl Ins and Meth in Phys Res B* 107 (1996) 204-211
- [11] *Modern Techniques in Metallography* DG Brandon Ed Butterworths, Londres 1966.
- [12] Brown. L.M, *Phil. Mag.* 19 (1969) 721
- [13] ASM Handbook. *Metallography and Microstructures* Vol 9. 2004
- [14] Zeisler S., *Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A* 590 (2008) 18–21
- [15]I. Sugai, *Nucl. Inst. and Meth* 590 37-42 (2008)
- [16] I. Sugai, *Nucl. Inst. and Meth* 590 15-25 (2008)