

## FABRICACION DE BLANCOS ANULARES PARA Mo-99 UTILIZANDO LÁMINAS DE URANIO NATURAL, URANIO LEU, NIQUEL Y ALUMINIO ESTRUCTURAL Al-3003

J.R. Lisboa <sup>(1)</sup>, M.E. Barrera <sup>(1)</sup> y J. Marin <sup>(1)</sup>

(1) Departamento de Materiales Nucleares, Comisión Chilena de Energía Nuclear, CCHEN, CHILE.

E-mail (Jaime Lisboa): [jlisboa@cchen.cl](mailto:jlisboa@cchen.cl)

### RESUMEN

*El radioisótopo de uso médico Tc-99m, producto de la cadena de desintegración radiactiva del Mo-99, es el de mayor uso en medicina nuclear a nivel mundial. En Chile el Tc-99m se aplica en más del 90% de los estudios de medicina nuclear. Con el propósito de suministrar este radioisótopo a todo el país, la CCHEN desarrolló durante el período 2005-2007 su propia producción de generadores de Tc-99m a partir de Mo-99 importado desde Canadá, los cuales son preparados de acuerdo a la actividad requerida por los hospitales o clínicas nacionales. A partir de 2007 se dejó de importar Mo-99, y desde entonces el Tc-99m es producido sólo por activación neutrónica del Mo. El desafío actual es desarrollar la producción de Mo-99 a partir de la irradiación de blancos que contienen láminas de uranio de bajo enriquecimiento, LEU producidas localmente. El blanco anular está compuesto por 2 tubos concéntricos de aluminio estructural Al-3003 que, en un espacio anular interior, contiene una lámina de uranio LEU cubierta, en ambas caras, por una lámina de níquel. En este trabajo se presenta el desarrollo de la tecnología de fabricación de blancos anulares utilizando uranio natural y uranio enriquecido en U-325. Los componentes estructurales se fabricaron con aleación de aluminio Al-3003, las láminas utilizadas son de 13 gramos de uranio con dimensiones de 100 x 50 mm y espesor entre 120-150 µm. Para el ensamblado del blanco se estableció una metodología que permite controlar, adaptar y ensamblar las diferentes componentes internos del blanco, se incluye lámina de uranio natural, uranio LEU y lámina de níquel, utilizado como barrera al escape de productos de fisión. En la etapa de expansión del blanco, se utilizó como lubricante alcohol PA, permitiendo un avance suave del expansor a través del interior del blanco. El sellado del blanco se realizó mediante soldadura TIG con corriente AC pulsada y una mezcla de gases Ar-5% He. Para la prueba de estanqueidad se utilizaron 2 métodos; para altos niveles de fuga se utilizó la temperatura como promotor del ΔP entregada por agua caliente y nitrógeno líquido, para bajos niveles de fuga se utilizó tecnología de alto vacío donde el ΔP es entregado por una atmósfera de helio a alta presión. Se logró desarrollar la tecnología de fabricación de blancos anulares de uranio LEU aplicando innovaciones a tecnologías ya probadas en Indonesia y USA.*

**Tópico:** 2: Materiales Metálicos

**Palabras clave:** Uranio LEU, Mo-99, Tc-99m, blanco anular.

### 1. INTRODUCCIÓN

La Comisión Chilena de Energía Nuclear, CCHEN, produce en su Reactor Nuclear RECH-1 radioisótopos de uso en medicina nuclear, tales como <sup>99m</sup>Tc, <sup>131</sup>I, <sup>192</sup>Ir, <sup>153</sup>Sm, entre otros. El radioisótopo de uso médico tecnecio-99 metaestable (<sup>99m</sup>Tc), producto de la cadena de desintegración radiactiva del <sup>99</sup>Mo, es el radioisótopo de mayor uso en medicina nuclear en el mundo. Este radioisótopo es utilizado en procedimientos de diagnóstico médico de diversas patologías, concentrando alrededor de 80% de todas las imágenes obtenidas por gamma cámaras de la medicina nuclear, que corresponden a más de 25 millones de estudios por año [1]. En Chile se aplica en más del 90% de los estudios de medicina nuclear (cerca de 200.000 pacientes). En Santiago, el <sup>99m</sup>Tc es producido por activación neutrónica del molibdeno, en cambio en regiones, el <sup>99m</sup>Tc utilizado proviene de generadores importados [2].

Con el propósito de suministrar el radioisótopo  $^{99m}\text{Tc}$  a todo el país, la CCHEN desarrolló durante el período 2005 - 2007 su propia producción de generadores de  $^{99m}\text{Tc}$  a partir de  $^{99}\text{Mo}$  importado desde Canadá, los cuales son preparados en los Centros de Estudios Nucleares de acuerdo a la actividad requerida por los profesionales médicos de los hospitales y/o clínicas nacionales. La importación de  $^{99}\text{Mo}$  desde Canadá no se realiza desde el año 2007, por lo cual desde ese año el  $^{99m}\text{Tc}$  es producido sólo por activación neutrónica. Uno de los programas de desarrollo tecnológico iniciados en la CCHEN contempla la producción de  $^{99}\text{Mo}$  a partir de la irradiación de blancos anulares que contienen en su interior láminas de uranio LEU. Para este desafío la CCHEN cuenta con el valioso apoyo del OIEA a través del Proyecto Coordinado de Investigación cod. T12018 "Developing Techniques for Small-Scale Indigenous Production of Molybdenum 99 Using Low Enrichment Uranium LEU or Neutron Activation", en el cual participan Chile (CCHEN), Libia (DRECT), Pakistán (PINSTECH), y Rumania (INR Pitesti) con tecnología de blancos anulares con láminas de uranio LEU. Estos organismos de investigación promueven la aplicación y transferencia de nuevas tecnologías nucleares, planeadas y basadas en un conjunto de actividades coordinadas que establecen procedimientos estandarizados y que son monitoreadas constantemente para evaluar el progreso en los planes de trabajo, a través de reportes escritos y presentaciones. Este proyecto coordinado, además, contempla actividades de diseño neutrónico, cálculos termohidráulicos, cálculos de dosis, fabricación de blancos anulares, diseño y fabricación de dispositivo de irradiación, acondicionamiento de celda caliente, desarme de blancos anulares, procesos radioquímicos de separación y purificación, caracterización de productos, manejo de residuos, licenciamiento de los procesos e instalaciones. [3,4]. El Departamento de Materiales Nucleares de la CCHEN ha sumado esfuerzos al desafío asumido para el desarrollo de la tecnología de fabricación de blancos anulares de irradiación, además del diseño y fabricación de equipos, herramientas y materiales para el ensamble y desarme de los blancos anulares luego de su irradiación en el reactor. El blanco anular está compuesto por dos tubos concéntricos de aluminio estructural del tipo Al-3003 que, en un espacio anular interior especialmente mecanizado, contiene una delgada lámina de uranio metálico LEU cubierta, en ambas caras, por una lámina de níquel que actúa como barrera de contención de los productos de fisión generados durante la irradiación[5,6,7].

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de la tecnología de fabricación de blancos anulares se consideró necesario separar las actividades de acuerdo al diagrama de la figura 1. Como materia prima se utilizó uranio natural y uranio de bajo enriquecimiento en el isótopo  $^{235}\text{U}$ , LEU en forma de láminas delgadas con espesores en el rango de 97-145  $\mu\text{m}$  y dimensiones de 100 x 50 mm, como se muestran en la tabla 1.



Figura 1. Procedimiento de fabricación de blanco anular.

Estas láminas de uranio se sometieron a una limpieza superficial durante 7 minutos por inmersión en una solución ácida de HNO<sub>3</sub> de grado técnico de manera de remover el óxido superficial. El material usado como contención al escape de los productos de fisión fue una lámina de níquel con un espesor de 14 μm y dimensiones que permiten envolver completamente la lámina de uranio, el níquel fue limpiado con alcohol y luego con acetona con el objeto de dejar una superficie libre de materia orgánica y suciedad. El material estructural utilizado para el ensamblado del blanco anular corresponde a la aleación Al-3003 y consta de 2 tubos mecanizados y decapados superficialmente con NaOH y neutralizado con HNO<sub>3</sub>. El armado del blanco anular consiste en ubicar la lámina de uranio envuelta en níquel entre los 2 tubos de Al-3003, para mantener el uranio en una posición centrada, el tubo interno debe ser mecanizado con un rebaje en su diámetro externo y longitud mayor a la del conjunto U-Ni. Con el objeto de minimizar el gap de aire que queda entre el conjunto U-Ni y la pared interna del tubo externo, se realiza un armado virtual estableciendo el gap de aire en el rango de 0.006-0.020 mm., este rango permite obtener un buen contacto térmico entre el conjunto U-Ni y el material estructural con lo cual se evita que la temperatura durante la irradiación se eleve a valores que superen la temperatura de fusión de algún componente del blanco anular o propicien una reacción entre ellos. Para ayudar a este buen contacto el blanco anular se somete a una expansión mediante uno de los 22 expansores fabricados con acero para trabajo en frío AISI D2, de la familia de los aceros para herramientas. Este set de 22 expansores luego de mecanizados se les realizó tratamiento térmico de alivio de tensiones a 630°C durante 1 hora, luego un temple desde 1050°C en aceite, la dureza final se obtiene luego de 3 etapas de revenido, todas a una temperatura de 525°C. Finalmente, el set de expansores se somete a un proceso de rectificado final antes de su uso. Para la etapa de expansión se utilizó como lubricante alcohol PA, el cual es eliminado junto con algunos contaminantes orgánicos y humedad a través de un desgasificado en vacío a 120°C.

**Tabla 1.** Uranio natural y LEU utilizado en la fabricación de blancos anulares.

<b>Blanco</b>	<b>N° lámina</b>	<b>Uranio</b>	<b>Masa</b>	<b>Espesor</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>
			[g]	[mm]	[mm]	[mm]
<b>TUN-17</b>	N-1	Natural	12.7	0,160	100.0	50.0
<b>TUN-24</b>	N-17	Natural	12.8	0.116	103.0	60.4
<b>TUN-26</b>	N-24	Natural	13.1	0.142	101.9	60.7
<b>TUN-32</b>	N-18	Natural	12.8	0.141	102.8	59.8
<b>TUN-33</b>	N-14	Natural	12.8	0.131	101.9	59.8
<b>TUN-35</b>	N-30	Natural	12.8	0.138	102.8	59.8
<b>TUN-36</b>	N-25	Natural	12.8	0.128	101.9	59.8
<b>TUN-37</b>	N-27	Natural	13.3	0.138	101.6	60.3
<b>TUN-38</b>	N-13	Natural	12.1	0.128	102.8	59.8
<b>TUN-39</b>	N-15	Natural	12.4	0.115	103.3	59.8
<b>TUN-40</b>	N-23	Natural	13.3	0.145	102.8	60.1
<b>TUN-48</b>	N-7	Natural	11.2	0.120	100.0	52.3
<b>TUN-49</b>	N-3	Natural	10.5	0.097	101.0	50.8
<b>TUN-50</b>	N-31	Natural	13.5	0.126	101.0	60.1
<b>TUN-51</b>	N-6	Natural	11.3	0.121	102.0	51.8
<b>TUN-52</b>	N-8	Natural	11.5	0.112	102.0	52.8
<b>TUN-53</b>	N-9	Natural	11.7	0.121	101.0	53.0
<b>TLEU-54</b>	L-2	LEU	10.5	0.122	101.6	48.5
<b>TLEU-55</b>	L-3	LEU	10.7	0.126	101.3	50.6
<b>TLEU-56</b>	L-4	LEU	11.0	0.133	101.7	50.0

El sellado del blanco anular se realiza mediante soldadura TIG sin aporte con corriente alterna pulsada y una mezcla de gases Ar-5% He, este proceso se lleva a cabo en un equipo rotatorio que permite realizar un cordón cilíndrico manteniendo la pistola fija. La inspección de la soldadura se realiza mediante radiografía industrial, controlando principalmente presencia de poros y impurezas de tungsteno.

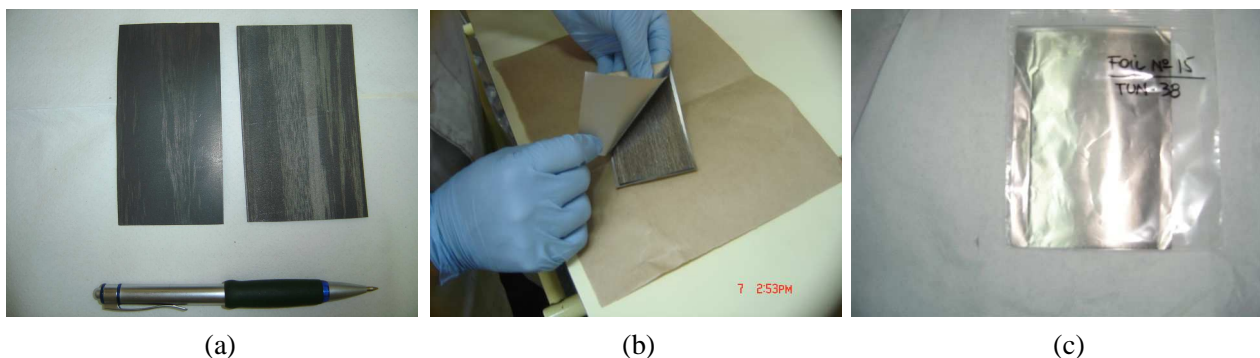
Para verificar el sellado de los blancos que han sido soldados se realiza un test de fuga que involucra 2 métodos, para niveles de fuga mayores el blanco anular se somete a una inmersión en nitrógeno líquido a una temperatura de  $-165^{\circ}\text{C}$  durante aproximadamente 15 minutos, una vez que el blanco se retira del nitrógeno se introduce inmediatamente a un recipiente que contiene agua caliente a aproximadamente  $95^{\circ}\text{C}$ , con este procedimiento se promueve una diferencia de presión,  $\Delta P$  en el blanco provocado por la diferencia de temperaturas, lo que promueve el escape de aire desde el interior del blanco hacia el agua, la presencia de burbujas de aire en el agua indica que el blanco presenta fugas. Para niveles de fuga en un rango más fino el método de prueba consiste en someter el blanco anular a una atmósfera de He a una relativa alta presión. En caso de haber alguna pérdida, el He se filtrará, por diferencia de presión hacia el interior del blanco, luego el blanco se somete a condiciones de alto vacío conectado a un detector de fugas del tipo espectrómetro de masas sintonizado para la masa de He. En caso de existir fuga, el He que se introdujo previamente comenzará a emerger hacia el interior de la cámara de vacío y activará el detector de fugas de alto vacío marca Variant modelo 959. De este modo, es posible establecer en forma cuantitativa el valor del caudal de fuga, el límite establecido es que el caudal de fuga detectado debe ser menor a  $5 \times 10^{-7}$  std  $\text{cm}^3/\text{seg}$ .

La posición final de la lámina de uranio en el blanco anular se determina observando una placa radiográfica donde se mide la distancia del extremo de la lámina de uranio hasta ambos extremos del blanco anular. La identificación del blanco anular se realiza con un pantógrafo y como etapa final el blanco anular identificado se somete a un decapado durante 3 minutos en NaOH a  $50^{\circ}\text{C}$ .

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Armado conjunto uranio-níquel

Para el armado del conjunto U-Ni se estableció una metodología que permite controlar, adaptar y ensamblar las diferentes materias primas utilizadas, en esta actividad, se incluye láminas de uranio natural y uranio LEU suministradas por KAERI y lámina de níquel, utilizado como barrera al escape de productos de fisión. La lámina de uranio fue decapado con  $\text{HNO}_3$  al 65% durante 7 minutos; y se realizó una limpieza a la lámina de Ni con alcohol y luego con acetona. El armado del conjunto U-Ni utilizando el pegamento recomendado por ANL [7], n-Hexano y cemento de caucho, y sus concentraciones en la unión entre las láminas de uranio y níquel, no es el más adecuado, sería necesario realizar experiencias que permitan encontrar las concentraciones y cantidades adecuadas para obtener un buen pegado, como también el tiempo de secado que asegure la unión de las láminas. Para los 10 últimos blancos anulares ensamblados, el conjunto U-Ni se obtuvo confeccionando un sobre con la lámina de Ni, dentro del cual se introduce la lámina de uranio, como se aprecia en la figura 2, donde en (a) se muestra la lámina de uranio; b) muestra el uranio al interior del sobre de Ni y (c) el conjunto U-Ni armado. Al evitar el pegamento se obtiene una superficie mucho más limpia.



**Figura 2.** Secuencia de armado de conjunto uranio-níquel.

#### Limpieza de tubos Al-3003

Para la limpieza de los tubos de aleación Al-3003 se utilizó 2 métodos; el primer método utilizado en ANL y BATAN [7,8] consiste en realizar una limpieza en ultrasonido con los tubos sumergidos en una solución de 1%

en vol. HCl, 1% en vol. de HNO<sub>3</sub> a una temperatura de 90°C durante 10 minutos y luego se realiza un abrillantamiento de los extremos que serán soldados con una solución de 90% en vol. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 5% en vol. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 5% en vol. HNO<sub>3</sub> a una temperatura de 90°C durante 60 segundos, el resultado de este método se muestra en la figura 3(a). El segundo método propuesto por la CCHEN al igual que el primero se somete a limpieza en ultrasonido y luego se realiza un tratamiento superficial de decapado con NaOH al 10% en vol. a 75°C, mostrado en la figura 3(b).

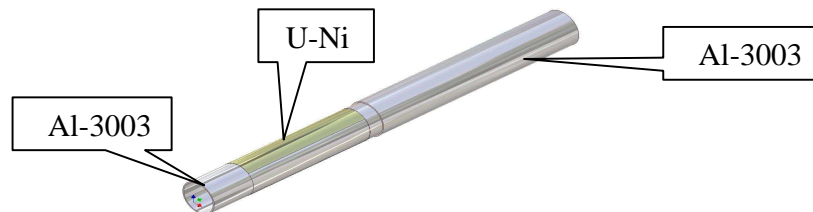


**Figura 3.** Limpieza de tubos de Al-3003.

Con los 2 métodos se obtienen buenos resultados, en CCHEN se propone seguir utilizando sólo el que utiliza NaOH debido a que ya se tiene la infraestructura para la preparación de las soluciones y el tratamiento de los residuos químicos.

Armado de blanco anular

El blanco anular está compuesto de un conjunto de láminas U-Ni dispuesto entre 2 tubos de Al-3003. La disposición se debe realizar de manera que la lámina de uranio quede lo más centrada posible entre los tubos del material estructural, por tal razón el tubo interno tiene un mecanizado de rebaje donde se ubica el conjunto U-Ni, como se muestra en la figura 4. Durante la introducción del conjunto U-Ni en el tubo externo se utilizó como lubricante alcohol PA, impregnando totalmente el conjunto U-Ni y la pared interior del tubo externo. Esta secuencia se ve en la figura 5.



**Figura 4.** Despiece conjunto U-Ni y Al-3003.



**Figura 5.** Secuencia de armado de blanco anular.

Expansión de blanco anular

Con el objeto de mantener un buen contacto entre los tubos de Al-3003 en el blanco anular armado, se realiza una operación de expansión utilizando una herramienta de acero para trabajo en frío AISI D2, la medida del

expansor se determina de acuerdo a los diámetros de ambos tubos de Al-3003, el objetivo es que la diferencia entre el diámetro interno del tubo externo y el diámetro externo del tubo interno sea menor al espesor del conjunto U-Ni. Por esta razón se fabricó un set de 22 expansores a los cuales fueron tratados térmicamente como se mencionó anteriormente. La dureza obtenida en los expansores está en el rango de 58-66 HRC y una gama de diámetros comprendidos entre 26.21-26.52 mm. El proceso de expansión se realiza en un dispositivo fabricado en acero 1045 como se muestra en la figura 6, en esta etapa se utiliza como lubricante un tipo de jabón de manos de fácil disolución en agua, este permite un avance suave del expansor a través del interior del blanco anular. Para los 10 últimos blancos ensamblados se utilizó como medio lubricante, alcohol etílico PA, con el cual se mejoró bastante la limpieza durante la operación de expansión. Este lubricante se incorporó a través de un orificio hecho en la pieza de centrado del blanco anular. Durante la expansión de estos últimos blancos se observó que el alcohol incorporado a través del orificio, se desplaza hacia arriba y se introduce entre el tubo interno y externo en la zona que no ha sido expandida, lo cual requiere un tiempo mayor para lograr evacuar todo el lubricante antes de la etapa de soldadura.

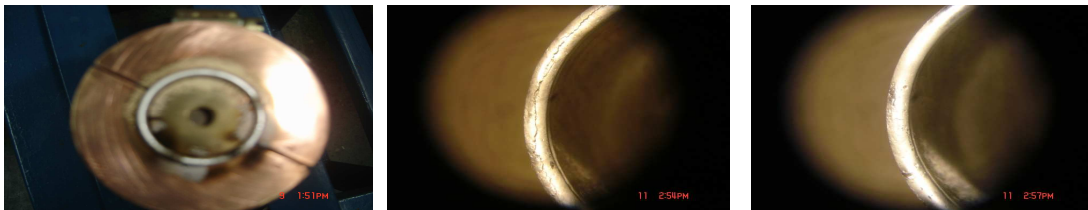


**Figura 6.** Módulo de expansión de blanco anular.

Se considera que el proceso de expansión del blanco anular mediante torque manual, es adecuado pero no ideal, debido a que el avance del expansor no se realiza a una velocidad constante. Se verifica que la alineación del hilo interior con respecto a la cabeza del expansor presenta una desviación significativa, lo que trae como consecuencia una expansión heterogénea del blanco anular.

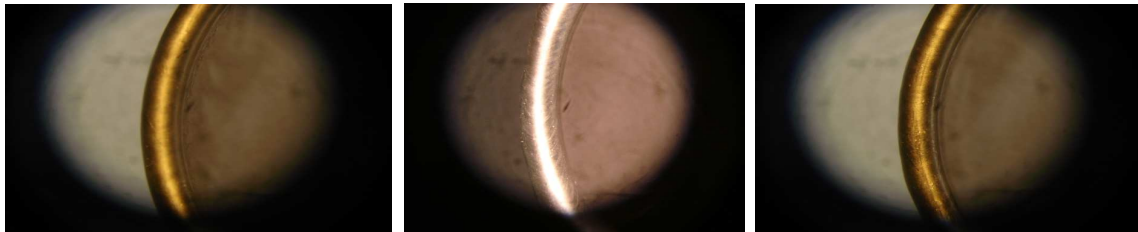
#### Soldadura de blanco anular

Inicialmente, el proceso de soldadura TIG para el sellado de los blancos anulares se llevó a cabo mediante el instructivo ANL [7], que considera corriente continua, 40Amp, mezcla de gases 90% He y 10% Ar, entre otros. Con estos parámetros no se obtuvieron buenos resultados en un principio, debido a que en el equipo utilizado no se puede cambiar la polaridad en TIG, por lo que se decidió variar algunos parámetros como la corriente alterna pulsada y se utilizó una mezcla comercial Indurtig con 5% Helio y 95% Ar. Además, antes de cada proceso de soldadura el blanco anular fue mecanizado en sus extremos dejando un bisel a 45° y luego sometido a una atmósfera de vacío para eliminar el alcohol utilizado como lubricante. Con estos parámetros se realizaron pruebas en los prototipos, obteniendo excelentes resultados, del punto de vista de la unión y presentación del cordón. Sin embargo, existe discontinuidad en la calidad de los cordones de soldadura, lo que se atribuye a la manipulación del blanco anular en las etapas de limpieza y expansión. Los defectos presentados en el cordón de soldadura son en forma heterogénea, en la figura 7 se observan defectos producidos, aparentemente, por impurezas orgánicas que provienen del interior del blanco (zonas oscuras), presencia de poros y grietas en ambos cordones.



**Figura 7.** Defectos en cordón de soldadura del blanco anular.

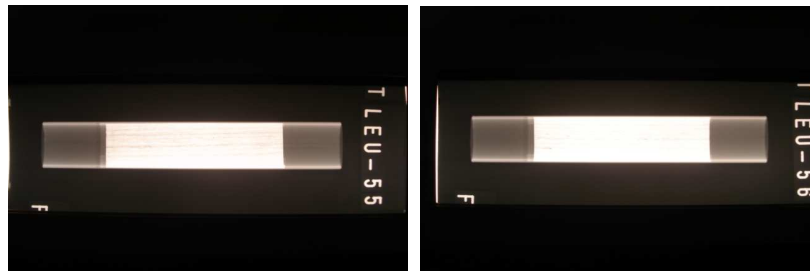
Con el objeto de asegurar que toda materia orgánica, alcohol y humedad sean eliminados desde el interior del blanco anular antes de llevar a cabo el sellado por soldadura, los blancos se sometieron a un tratamiento térmico de desgasificado a 120°C durante 1 hora. Con este tratamiento térmico se logró efectivamente eliminar los defectos aparecidos en el cordón de soldadura y los blancos presentan un cordón sano y regular como se muestra en la figura 8.



**Figura 8.** Cordón de soldadura del blanco anular desgasificado.

#### Inspección mediante Rayos-X de blanco anular

La inspección de los blancos mediante rayos X comprende el control de soldadura y la metrología interna. Con el fin de verificar la presencia de poros y/o impurezas de tungsteno en el cordón de soldadura, el blanco se expone a un haz de rayos X con un ángulo de incidencia de 30° de esta forma se revela todo el cordón, resultado que se muestra en la figura 9(a), esta radiografía se analiza de acuerdo a la Norma ASTM E 1648-95. Para la metrología interna del blanco se debe exponer el blanco extendido completamente, como se muestra en la figura 9(b), de manera tal de poder cuantificar la longitud a la cual se encuentra el uranio con respecto a los extremos del blanco anular, este valor es importante para definir la posición del blanco en el módulo que se introduce al reactor nuclear.



**Figura 9.** Cordón de soldadura del blanco anular desgasificado.

#### Test de fuga de blanco anular

Los 2 métodos utilizados para detectar fugas dieron resultados satisfactorios, antes de cada medición se realizó una prueba con blancos anulares patrones con y sin fugas. Se destaca que todos los blancos en los cuales no se detectó fuga con el método de nitrógeno líquido, el detector de He también no detectó fuga. Este resultado le da credibilidad al método implementado en la CCHEN. Finalmente, en la figura 10 se muestran los blancos anulares ensamblados con uranio LEU con su identificación, terminación superficial y junto al dispositivo porta blanco.



**Figura 10.** Blancos anulares en condición final.

#### 4. CONCLUSION

La fabricación de blancos anulares con uranio de bajo enriquecimiento es factible de realizar en la Comisión Chilena de Energía Nuclear, de este modo el proyecto de obtención de radioisótopo  $^{99m}\text{Tc}$  a partir de la producción de Molibdeno de fisión, cuenta con la primera etapa desarrollada, fundamental para abastecer con este producto a los hospitales en Chile, una vez finalizado el desarrollo con los procesos de irradiación y radioquímica realizados en celdas de alta actividad.

#### REFERENCIAS

1. I.N. Goldman, N. Ramamoorthy and P. Adelfang, "Fostering New Sources of International Nuclear Medicine Needs"; 30<sup>th</sup> RERTR 2008 International Meeting on reduced Enrichment for Research and Test Reactors; Washington D.C.; USA; 2008.
2. R. Schrader et al, "Progress in Chile in the Development of the fission  $^{99}\text{Mo}$  Production Using Cintichem"; 29<sup>th</sup> RERTR 2007 International Meeting on reduced Enrichment for Research and Test Reactors; Praga; Republica Checa; 2007.
3. G.F. Vandegrift et al, "Converting Targets and Processes for Fission-Product  $^{99}\text{Mo}$  From High-to-Low-Enriched Uranium", Argonne National Laboratory; USA; 1997.
4. J.L. Snelgrove, G.F. Vandegrift, C. Conner, T.C. Wiencek and G.L. Hofman, "Progress in converting  $^{99}\text{Mo}$  production from high-to-low. Argonne National Laboratory; USA; Octubre 1999.
5. R. Schrader et al, "Status of the Chilean Implementation of the modified Cintichem Process for Fission  $^{99}\text{Mo}$  Production Using LEU" 30<sup>th</sup> RERTR 2008 International Meeting on reduced Enrichment for Research and Test Reactors; Washington D.C.; USA; 2008.
6. J. Lisboa, "Informe Proyecto  $^{99}\text{Mo}$  fisión CCHEN – Preparación y ensamblado de prototipos de targets LEU". Departamento Materiales Nucleares, CCHEN; 2009.
7. "Instructions for Assembling Ni-Foil-Wrapped LEU-metal-foil Annular Targets"; Argonne National Laboratory, ANL, USA.
8. B. Briyatmoko et al, "Indonesia's Current Status for Conversion of Mo-99 Production to LEU Fission"; Indonesian National Nuclear Energy Agency, BATAN.