

## Control de calidad y mejoramiento de microsoldaduras de porta fuentes de Ir-192

Alcides López<sup>1,\*</sup>, Max Medina<sup>2</sup>, Luis Cavero<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dirección de Investigación y Desarrollo. Instituto Peruano de Energía Nuclear.  
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Planta de Producción de Radioisótopos. Instituto Peruano de Energía Nuclear.  
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

Se muestran los resultados de la calidad de microsoldaduras de 5 porta fuentes usados para contener 30 discos de Ir-192 de 3 mm de diámetro y 0.5 mm de espesor fabricadas en acero inoxidable AISI 304, mediante tungsteno en gas inerte, que fueron parte de las pruebas de calificación al operador de soldadura de la Planta de Producción de Radioisótopos del IPEN para su uso en gammagrafía industrial. Se determinaron rangos y tolerancias apropiadas de los parámetros y posteriormente fueron probados en la celda caliente, se efectuaron análisis macrográficos y metalografías convencionales para medir la amplitud, espesor y parámetros de centrado del cordón de soldadura, encontrándose defectos en el centrado debido a la característica de la luna de aumento grande y al alto ángulo de incidencia visual en el vidrio emplomado de 200 mm, que daban una imagen del punto de soldadura de poca calidad debido a la baja amplificación, gran aberración cromática resultando cordones de aportación fuera de la costura. Este problema se solucionó cambiando la luna de aumento por un telescopio exterior diseñado para este fin y elevando el banco de trabajo de manera que el eje del telescopio y el punto de soldadura se encuentren horizontalmente, logrando procesos más rápidos, confiables y reproducibles.

Palabras claves: Gammagrafía, Seguridad Radiológica, Instrumentación Nuclear, Control de calidad, Microsoldaduras

### Abstract

We show micro quality results of tungsten inert gas welds on stainless steel AISI 304 of 5 bayonets holding 30 discs 3 mm diameter and 0.5 mm thick of Ir-192 sources produced in the Radioisotope Production Plant (RPP) of IPEN, generally used in industrial gammagraphy. Macrographic analyzes were performed and allowed conventional metallographic measure the amplitude, thickness and centering of the weld bead showing defects, centered data have helped to determine the parameters for welds with good quality, showing defects due to the misaligned glass lens, low magnification image and high visual angle of incidence across the 200 mm security leaded glass giving a low quality weld image due to the low magnification, large chromatic aberration resulting in a weld outside the seam, this problem was solved by changing the old optical visualization system by an external telescope specially designed for this purpose and raising the workbench so that the optical telescope axis and the weld are horizontally, achieving more rapid processes, reliable and reproducible, this new system has proved more convenient, reliable and reproducible.

Keywords: Gammagraphy, Radiologic Safe, Nuclear Instrumentation, Weld quality control

### 1. Introducción

La radiación gamma tiene múltiples aplicaciones como por ejemplo en el tratamiento del cáncer, en la tomografía por emisión de positrones, en los aeropuertos permite radiografiar rápidamente equipajes y personas pudiendo identificar armas o materiales peligrosos, alimentos, maderas, piezas arqueológicas, material médico, lanas, pieles entre otros, un uso amplio se da en la esterilización para evitar que parásitos bacterias o virus infecten a los humanos, se

usa también en el control en líneas de producción del espesor del papel o láminas metálicas con precisión extrema [1].

La radiografía gamma industrial es un tipo de análisis no destructivo complementario a la radiografía industrial de rayos X y a la neutrografía, estos análisis dan importante información de la calidad de cordones de soldadura o piezas metálicas fundidas, identificando burbujas, impurezas o fisuras al

\* Correspondencia autor: alopez@ipen.gob.pe

interior. La desventaja de los equipos radiográficos industriales de rayos X es su gran tamaño que no permite, muchas veces, instalarse cuando las zonas a inspeccionar son espacios muy reducidos o cuando las pruebas se tienen que realizar en el campo, lejos de accesos cómodos; por el contrario, los dispositivos radiográficos por rayos gamma son generalmente mucho más pequeños que sus similares de rayos X [2,3].

En el presente trabajo se realiza la inspección de calidad de micro soldaduras de porta fuentes de Ir-192 producidas en la Planta de Producción de Radioisótopos (PPR) del IPEN, las mismas que son parte del proceso de calificación del operador de soldadura. Las porta fuentes se usan generalmente en el control de calidad de cordones de soldadura en la industria de la construcción y/o metal mecánicas y son cápsulas fabricadas en acero inoxidable AISI 304. Para el presente estudio se han usado 5 porta fuentes de Ir-192, cada uno de ellos sirve para dar alojamiento entre 20 a 30 discos de Ir-192 de 3 mm de diámetro y 0.5 mm de espesor. En la Figura 1 se muestra la forma y los detalles geométricos de las capsulas porta fuentes.

En la PPR se tuvo que cambiar la maquina de soldar las porta fuentes de Ir-192, ésta situación poco frecuente requiere de pruebas de calibración que garanticen una buena soldadura; por esa razón, se ha procedido en primer lugar a efectuar pruebas con el objeto

de determinar los rangos y tolerancias apropiadas del proceso de soldadura y luego se han efectuado pruebas dentro de la celda equivalentes a situaciones normales de trabajo. A las muestras se han efectuado análisis macrográficos y metalografías convencionales que han ayudado a determinar el mejor rango y los parámetros que se debería adoptar para realizar este trabajo de forma eficiente, los defectos encontrados se debieron al uso de la lente de aumento y se solucionó instalando un telescopio preparado especialmente para este fin.

## 2. Experimental

La PPR cuenta con una celda para producir porta fuentes de Ir-192. En este recinto se sujeta la porta fuente en un torno que le permite girar con velocidad constante y soldar el cuerpo y tapa del porta fuentes con una máquina de soldar TIG. Se dispone de una lente de aumento que permite visualizar el alineamiento entre el electrodo de la maquina de soldar y la unión del cuerpo y la tapa del porta fuente.

También se cuenta con un dispositivo de posicionamiento del electrodo respecto a la zona a soldar, permitiéndole desplazamientos axial, radial y de acercamiento a la superficie del porta fuente, tanto como lo permita la visión del operador y la luna de aumento disponible.

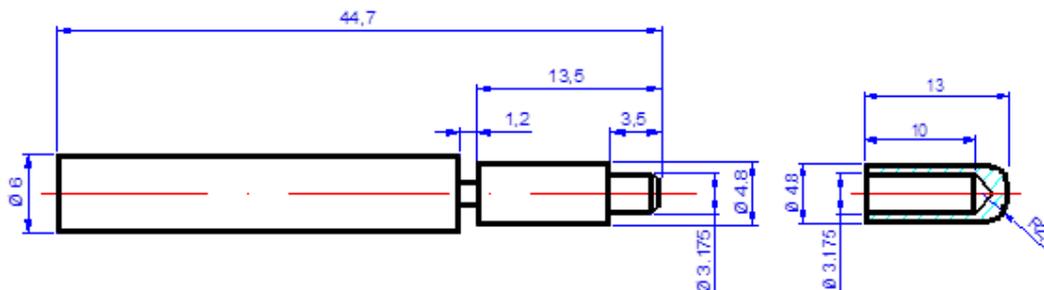
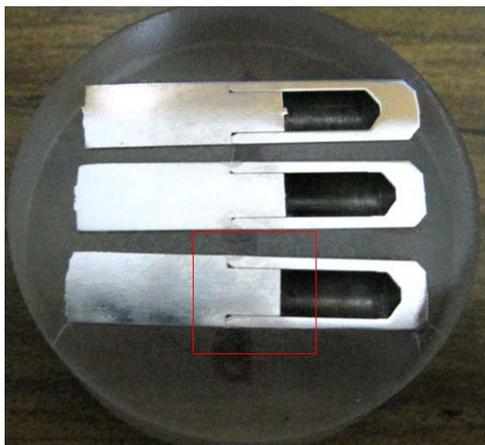


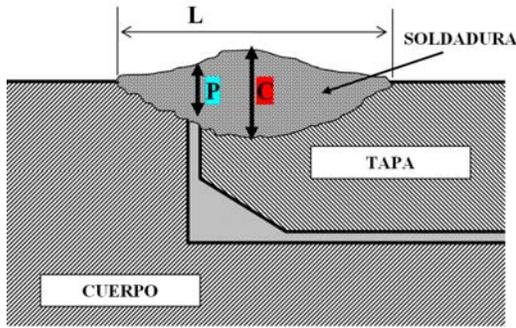
Figura 1. Forma y detalles geométricos de las capsulas porta fuentes de Ir-192 (acotaciones en mm).

**Tabla 1.** Parámetros técnicos usados en la máquina de soldar, para las soldaduras de las porta fuentes de Ir-192.

<i>Ajuste de la máquina en consola</i>	<i>Selección</i>	<i>Operación</i>	<i>Probeta PM 11</i>	<i>Probeta PM 12</i>	<i>Probeta PM 13</i>	<i>Probeta PM 15</i>	<i>Probeta PM 17</i>
<b>CTRL de proceso (Process)</b>	Presionar						
TIG HF IMPULSE	Destello	Seleccionado	si	si	si	si	si
TIG LIFT ARC	No aplica		x	x	x	x	x
<b>CTRL de salida (output)</b>	Presionar						
RMT STD	No aplica		x	x	x	x	x
RMT 2T HOLD	Destello	Seleccionado	si	si	si	si	si
<b>Control de pulsación (Pulser)</b>	No aplica						
PPS	No aplica		x	x	x	x	x
PEAK t	No aplica		x	x	x	x	x
BKGND A	No aplica		x	x	x	x	x
ON	No aplica		x	x	x	x	x
<b>CTRL del secuenciador (Secuence)</b>	Presionar	Destello					
INITIAL A	Destello	Ajustar	6	6	5	7	8
INITIAL SLOPE t	Pre fijado	3s	3	1	1	1	1
FINAL SLOPE t	Pre fijado	3s	3	1	1	1	1
FINAL A	Destello	Seleccionado	6	6	5	7	8
<b>Ajuste de controles (Adjust)</b>	Presionar						
PREFLOW	Pre fijado	2s	2	8	8	8	8
POSTFLOW	Destello	Ajustar	8	8	8	8	8
DIG	Destello	No aplica	x	x	x	x	x
Purga	Destello	Ajustar	4	8	8	8	8
<b>Ctrl. de amperaje (Main /Peak)</b>	Presionar						
A	Destello		si	si	si	si	si
<b>CTRL de Codificador</b>		Ajustar	12	12	11	13	14
<b>Ajuste en el posicionador (Mini torno)</b>	Presionar						
RPM	Pre fijado	4	4	4	4	4	4
<b>Ajuste del electrodo (Torio 2%)</b>	Presionar						
Altura entre metal base y electrodo	Ajustar	Ajustar	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Angulo de afilado	Afilar	30°	30	30°	30°	30°	30°
<b>Ajuste gas de protección (Argon UAP)</b>	Presionar						
Flujo l/minuto	Abrir	Regular	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5

**Figura 2.** Vista de tres capsulas cortadas por la mitad e incluidas en resina y pulidas para su análisis metalográfico. Se muestra recuadro de zona de análisis.

Las probetas fueron preparadas en acero inoxidable AISI 304 de acuerdo con las especificaciones geométricas indicadas en la Figura 1, la unión entre la tapa y el cuerpo de la capsula fueron selladas mediante proceso de soldadura TIG (*Tungsten Inert Gas*) usando un soldador Marca Miller Electric MFG Modelo Maxtar 200DX, N° serie LH380269L, código PPR HM32PR, rango de corriente entre 1 y 200A, electrodo de tungsteno toriado al 2% y gas de protección Argón UAP 5.0, los parámetros usados en el soldador se pueden apreciar en la Tabla 1. En la Figura 2 se observan 3 porta fuentes seccionadas diametralmente, incluidas en resina epoxica y pulidas para su análisis metalográfico.

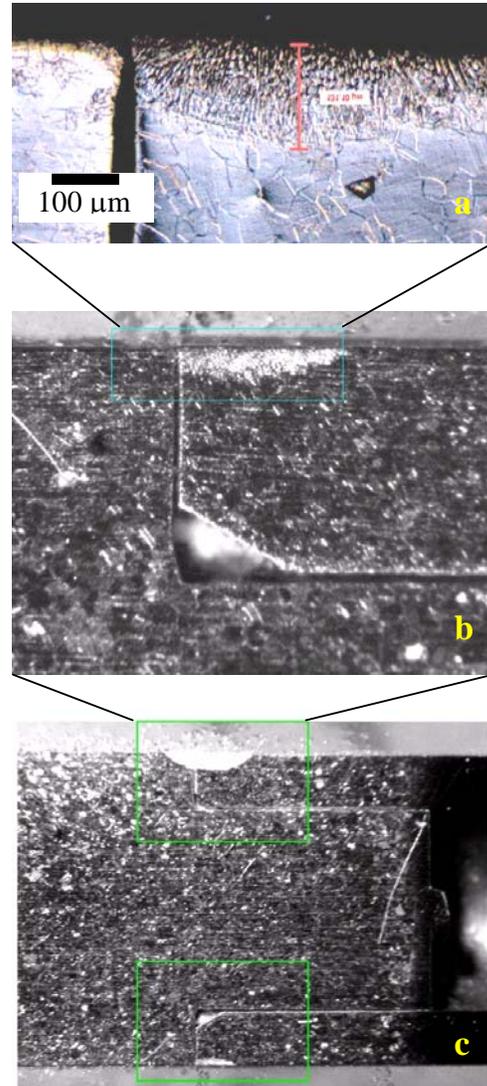


**Figura 3.** Descripción de parámetros empleados en el estudio de las microsoldaduras entre la unión del cuerpo y la tapa de la capsula.

En la Figura 3 se muestra un corte esquemático de la microsoldadura entre el cuerpo y la tapa del porta fuente, los parámetros indicados nos permiten determinar la calidad de la soldadura.

- **L** representa el ancho del cordón de soldadura,
- **P** la profundidad de penetración del metal de aportación sobre la unión entre el cuerpo y la tapa.
- **C** la profundidad máxima de penetración del metal de aportación, se considera ubicado en el centro de simetría del cordón de la soldadura.
- **D** es la desviación del centro de la soldadura **C** con respecto a la posición de **P**.

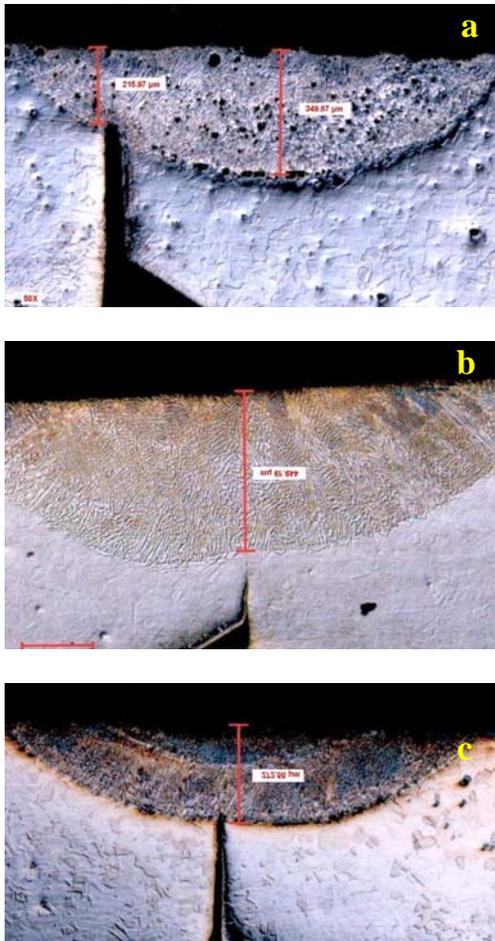
El espesor de la tapa en la unión es de aproximadamente 812  $\mu\text{m}$ . Los porta-fuentes fueron etiquetados como: PM11, PM12, PM13, PM15 y PM17, los análisis macrográficos fueron realizados con microscopia de luz, en el Laboratorio de Microscopia Electrónica del IPEN y las metalografías se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica MAT-MAR-0134/2011.



**Figura 4.** Vistas progresivas del proceso micrográfico a) metalografía del recuadro inferior. b) ampliificación del cuadro mostrado en c. c) macrografía del corte de la unión entre el cuerpo y a tapa de la porta fuente.

**Tabla 2.** Parámetros y características de las soldaduras.

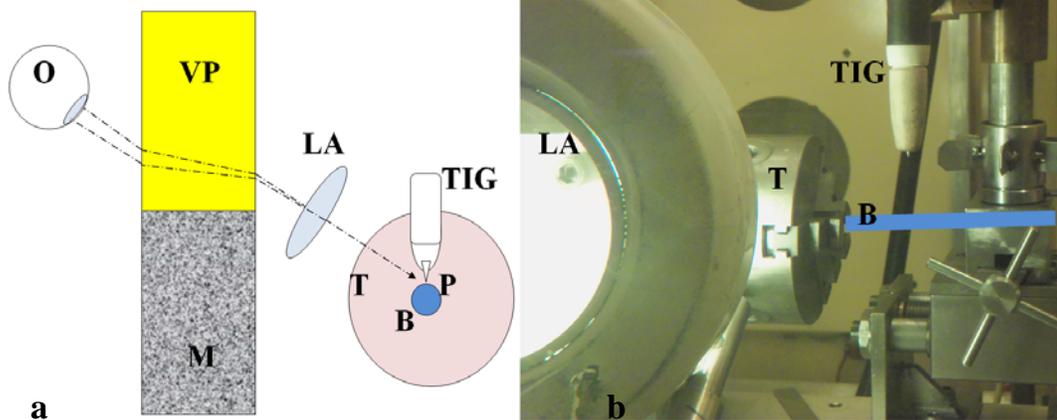
Muestra	$L_{prom}$ (mm)	$P_{prom}$ ( $\mu\text{m}$ )	$C_{prom}$ ( $\mu\text{m}$ )	$D_{prom}$ ( $\mu\text{m}$ )	Calificación centrado	Fractura	Calificación soldadura
PM11	0.9	114	190	0.45	malo	si	mala
PM12	1.4	340	360	0.15	bueno	no	buena
PM13	1.0	155	245	0.32	malo	no	mala
PM15	0.9	247	270	0.12	bueno	si	mala
PM17	1.25	445	450	0.1	bueno	si	mala



**Figura 5.** Metalografías en corte de soldaduras efectuadas en porta muestras de Ir-192, a) descentrada, b) centrada de máxima penetración y c) centrado de penetración media.

Podemos considerar que las muestras con centrado deficiente son las únicas soldaduras defectuosas, las muestras que no pasarían el control de seguridad radiológica son: M11 y M13.

La gran dificultad para la ubicación precisa de la punta del metal de aportación se debía al uso de una gruesa lupa de 12 cm de diámetro, la cual producía una gran aberración cromática en la imagen, este defecto estuvo enfatizado por la visual inclinada entre el ojo del operador y el punto de soldadura, inclinación que al atravesar el vidrio plomado de 200 mm de espesor incrementaba la deformación de la imagen y la aberración cromática, dicho sistema se aprecia en la Figura 6.



**Figura 6.** Sistema de soldadura por TIG a) esquema del sistema y b) vista panorámica a través del vidrio plomado del sistema de soldadura.

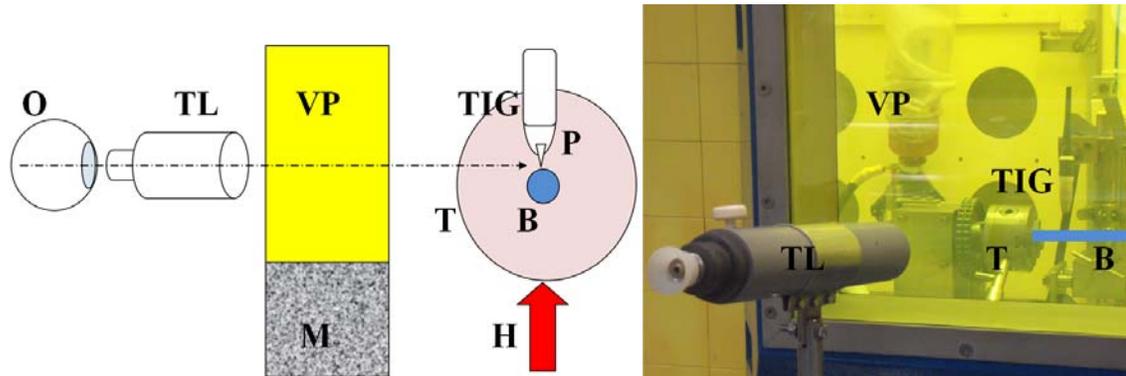
O: Ojo del observador.  
 VP: Vidrio plomado de seguridad.  
 M: Muro.

LA: Lente de aumento.  
 TIG: soldadura de W en gas inerte.  
 P: Punto de soldadura.

B: Porta fuente de Ir-192.  
T: Torno.

La solución al problema de mala calidad de visión del punto de soldadura P, debido al uso de una luna de aumento y con la visual inclinada se ha solucionado mediante la construcción de un telescopio de objetivo acromático de 5 cm de apertura y distancia

focal de 25 cm, instalado fuera de la celda y con la visual horizontal coincidiendo con el ojo del observador, el eje óptico del telescopio TL y el punto de soldadura P, para conseguir la horizontalidad de la visual ha sido necesario elevar todo el banco del sistema de soldadura un altura H, tal como se aprecia en la Figura 7.



**Figura 7.** Sistema de soldadura por TIG mejorado. a) esquema del sistema mejorado, b) vista panorámica del sistema en operación.

TL: Telescopio.

H: Altura de izamiento del torno.

### 3. Conclusiones y recomendaciones

Las soldaduras más confiables fueron las efectuadas para las muestras PM12 y PM17 en ese orden, por lo tanto se recomienda considerar el uso de los parámetros asociados a dichas muestras.

Para mejorar el centrado del cordón de soldadura tanto radial como longitudinalmente de manera cómoda, fiable y reproducible, se ha cambiado el antiguo sistema de visualización con luna de aumento de gran deformación y excesiva aberración cromática con otro sistema telescópico de

mucha mayor claridad.

### 4. Referencias

- [1]. Chris Hamilton: Uses for gamma radiography. [serie en Internet]. Disponible en: [http://www.ehow.com/list\\_6907089\\_uses-gamma-radiography.html](http://www.ehow.com/list_6907089_uses-gamma-radiography.html)
- [2]. Code of practice for industrial radiography Directorate: Radiation control, IRCP91-2.
- [3]. Hayward Peter. Radiography of welds using selenium 75, Ir-192 and x-rays. In: 12<sup>th</sup> A-PCNDT 2006 – Asia-Pacific Conference on NDT. 5-10 Nov 2006, Auckland, New Zealand.