

## **Dosimetría comparativa en diferentes modelos de Arco en C**

**Federico Bregains<sup>1</sup>, Ricardo Ruggeri<sup>1</sup>, Ricardo Sacc<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>C.E.R. Consultoría en Radiaciones  
Doctor Zavalla 2947 Santa Fe, Argentina (3000), Santa Fe, Argentina

### **RESUMEN**

El Arco en C es un sistema móvil radiográfico digital empleado en una amplia variedad de usos en radiodiagnóstico (procedimientos vasculares, intervencionismo, neurocirugía, ortopedia, etc.). Los avances tecnológicos de los mismos incluyen equipos con la posibilidad de escaneo 3D de la zona de interés, mediante la toma simultánea de varias imágenes radiográficas.

Esta nueva herramienta ha despertado el interés radioproteccionista de la institución de salud y de los trabajadores, con lo cual, bajo el marco del programa de Control de Calidad (QC), se valoró la Tasa de Dosis Equivalente de tres modelos de Arco en C: convencionales, de alta gama, y de escaneo 3D.

Dentro del QC se analizan diferentes parámetros dosimétricos tales como Rendimiento, Tasa de dosis a la entrada del paciente, Filtración total del haz y exactitud en el kiloVoltaje. Asimismo se evalúa la Tasa de Dosis Equivalente en puntos indicados por el fabricante y zonas normalmente empleadas por los operarios tanto para la operación normal de los equipos como para la adquisición 3D de calidad normal y de alta calidad.

Los resultados obtenidos indican que los niveles de los parámetros medidos se encuentran dentro de las tolerancias establecidas por el fabricante. Asimismo es posible concluir que el estudio tridimensional no representa un riesgo adicional para el operador, respetando los requisitos radioproteccionista de la institución.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Las prácticas médicas que involucran radiación ionizante son responsables de una gran contribución en la dosis poblacional. En diferentes países se han adoptado normas de seguridad y reglamentaciones con la intención de garantizar la seguridad al personal y al paciente, sin comprometer la calidad diagnóstica.

El Arco en C es un sistema móvil radiográfico digital diseñado para múltiples tareas tales como procedimientos vasculares, intervencionismo cardíaco, neurocirugía y cirugías en general. Debido a las altas dosis que pueden verse involucrados durante estos procedimientos y su complejidad ameritan un estricto programa de control sobre los mismos y recomendaciones de uso para evitar exposiciones innecesarias.

Los diferentes modelos de Arco en C varían sus prestaciones en cuanto a facilidades de uso, modos de visualización, calidad de imagen y dosis, ofreciendo al mercado actual una diversa variedad. Las mediciones proporcionan un medio para establecer y comprobar los estándares de buenas prácticas, como una ayuda a la optimización de la protección radiológica del paciente y del usuario sin comprometer la calidad del estudio a realizar.

El objetivo del presente trabajo es establecer la metodología empleada para la medición de este tipo de equipamiento durante la realización del programa de QC, siguiendo criterios establecidos en las Normas Básicas de Seguridad y adaptados a la situación de nuestro país. Asimismo se presentan los resultados conseguidos durante la implementación del programa y una breve discusión de los mismos, junto con los puntos más relevantes en lo referente a la dosimetría.

Debido a la complejidad de los procedimientos realizados, es necesario considerar tres niveles de indicadores: la calidad del haz, la dosis en el paciente y la dosis en el trabajador. Para poder evaluar cada uno de estos aspectos se utilizan diferentes parámetros dosimétricos. Por ejemplo para la determinación de la calidad del haz es necesario caracterizar la salida del haz radiante mediante el uso de la Capa Hemi-Reductora (CHR), el voltaje del tubo (kV), y la filtración total del haz (F). Para relacionar la dosis del paciente se utiliza el rendimiento ( $\eta$ ) y la tasa de dosis en la superficie de entrada ( $\dot{D}_{in}$ ). Por último, la evaluación de la dosis impartida sobre el trabajador se realiza a través de un levantamiento radiométrico simulando condiciones normalmente empleadas durante una intervención.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección se divide en tres apartados en donde se presenta, en primer lugar, el equipamiento empleado para la dosimetría, en segundo lugar, los equipos analizados y en tercer lugar la metodología utilizada para cada uno de los parámetros evaluados.

### 2.1 Equipamiento de medición empleado

En radiodiagnóstico la dosimetría se basa en el empleo de instrumentos calibrados en laboratorios certificados. Los instrumentos básicos necesarios para la implementación del programa conforman fantomas para simulación de paciente, instrumentos de medición y accesorios. El equipamiento empleado fue:

- Fantoma: Es un simulador de paciente, posee 20 cm de agua equivalente.
- Detector semiconductor multipropósito, AGMS-D ® de RadCal. Este semiconductor permite la determinación en tiempo real, de la dosis, kilovoltaje de tubo, capa hemireductora y filtración total del haz.
- Cámara de ionización para mamografía de RadCal, empleada para la determinación de la dosis y tasa de dosis en la superficie del paciente. La ventaja que presenta por sobre el detector semiconductor es la detección de la radiación de *backscatter* proveniente de la superficie de entrada.
- Cámara de Ionización ALOKA. Es una cámara de monitoreo ambiental empleada para el relevamiento radiométrico.
- Convertidor Analógico Digital Radcal, Mod Accu Gold (AGDM). Es la interfaz necesaria entre el detector y la computadora.
- Computadora de adquisición y Software correspondiente: Accu-Gold®
- Sistema posicionamiento de detectores y accesorios (nivel, cinta métrica, etc.)

### 2.2 Equipos medidos

Los equipos medidos son tres modelos de Arcos en C, marca Siemens, variando en complejidad y prestaciones de cada uno de los modelos. Estos sistemas permiten realizar adquisiciones de fluoroscopia en modo continuo y pulsado, así como la toma de placas radiográficas, mediante el uso de un chasis externo.

Los equipos analizados son:

- Modelo SIREMOBIL®: es un equipo compacto, sencillo de manejar y operar, compatible con diversas aplicaciones.
- Modelo ARCADIS® Varic: es un avanzado Arco en C multipropósito. Es compatible con una amplia gama de aplicaciones como ortopedia, trauma y cirugía vascular, o urología, etc. Sus capacidades de posterior procesamiento facilitan la integración de trabajo clínico avanzado.

- Modelo *ARCADIS® Orbic*: es un equipo de alta gama con un diseño isocéntrico y 190° de movimiento orbital. La funcionalidad 3D permite la obtención de imágenes axiales, reconstruidas a partir de la toma simultánea de imágenes. Esto lo hace adecuado para su uso intraoperatorio en ortopedia, trauma y cirugía de columna.

Durante la realización del programa fueron relevados en total 5 modelos Siremobil Compact L®, 2 Arcadis Varic® y 1 Arcadis Orbic®. Una característica interesante del modelo Arcadis Orbic® es la posibilidad de hacer un estudio tridimensional. Este estudio implica realizar capturas sucesivas alrededor del eje de rotación del equipo y obtener cortes axiales.

### 2.3 Mediciones Estándar Realizadas

Como se mencionó anteriormente, las mediciones se realizaron agrupando los parámetros dentro de aquellos indicadores de la calidad del haz, la dosis sobre el paciente y la dosis sobre el trabajador. Por razones de extensión del trabajo solo se muestran resultados parciales obtenidos durante la medición.

#### 2.3.1 Indicadores de calidad del haz

Dentro de los parámetros indicadores de la calidad podemos encontrar la Capa Hemireductora (CHR), la Filtración total del haz (F) y el kilovoltage aplicado (kV).

La CHR representa el espesor de aluminio necesario para reducir la exposición a la mitad del valor entregado por el equipo. Junto con la segunda capa hemireductora (CHR<sub>2</sub>) son dos indicadores directos de la calidad del haz. La Filtración total se define como el espesor total de filtración empleado en el equipo y se expresa en milímetros de aluminio equivalente.

También es necesario evaluar la exactitud y repetibilidad de la indicación de la tensión del tubo en el selector para cualquier corriente de tubo seleccionada. Para ello se mide la tensión del tubo en diferentes condiciones con el detector ubicado en el punto de referencia de intervencionismo y se analiza la exactitud y repetibilidad.

Para la determinación de estas cantidades se utiliza un detector semiconductor AGMS-D®, de Radcal, y se analizan los valores para diferentes valores de tensión de tubo (Fig.1).

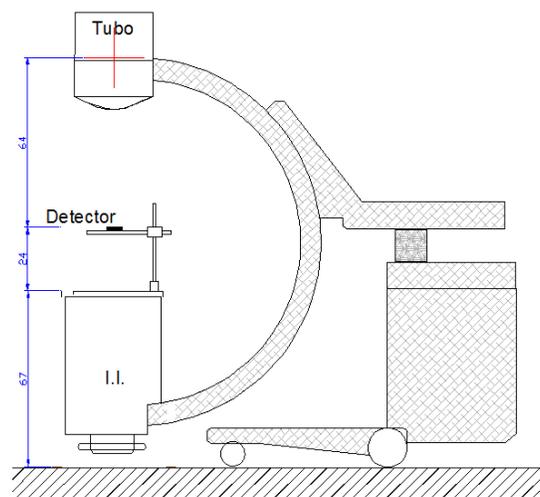


Figura 1. Diagrama de posicionamiento de mediciones en aire.

### 2.3.2 Indicadores de dosis en el paciente

El control de la dosis impartida al paciente, conjuntamente con la calidad de la imagen en exploraciones de radiodiagnóstico, puede constituir un primer estimador sobre el estado global del sistema (equipamiento radiológico, protocolo de exploración, formación del personal) a partir del cuál se decidan actuaciones de verificación dirigidas a elementos concretos para corregir comportamientos anómalos

Como indicadores de la dosis en el paciente utilizamos el rendimiento del equipo y la dosis en la superficie de entrada. El rendimiento del equipo nos provee un monitoreo de la salida de radiación y es un indicador directo de la dosis impartida en la superficie y a diferentes órganos mediante la aplicación de factores de conversión apropiados. La prueba realizada consiste en evaluar la constancia del Kerma en aire o dosis para mAs dado, y la linealidad e intensidad del rendimiento con una tensión de tubo de 80kV o similar. Se toman lecturas en un punto de referencia situado a 20 cm del intensificador de imágenes y se determina el rendimiento del equipo para las condiciones de referencia establecidas a nivel internacional, 80 kV, 1 mAs y 1 m<sup>2</sup>.

La dosis en la superficie de entrada se determina mediante el uso de un fantoma de 20 cm de espesor simulando la condición de paciente. Se ubica el sensor por encima del simulador (Fig. 2) y se determina la dosis y tasa de dosis para las tres formas de operación del equipo: Fluoroscopia continua, fluoroscopia pulsada y modo Placa. Esto se realiza tanto en modo manual como automático.

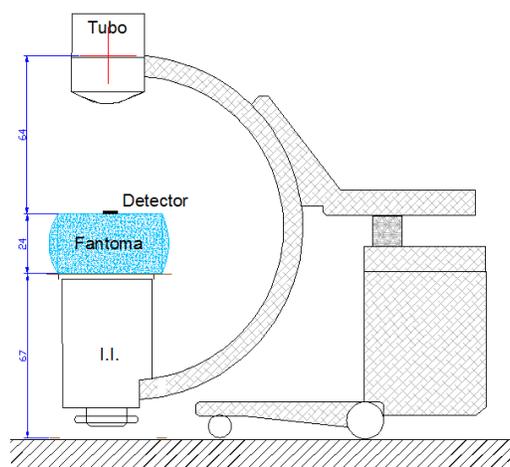
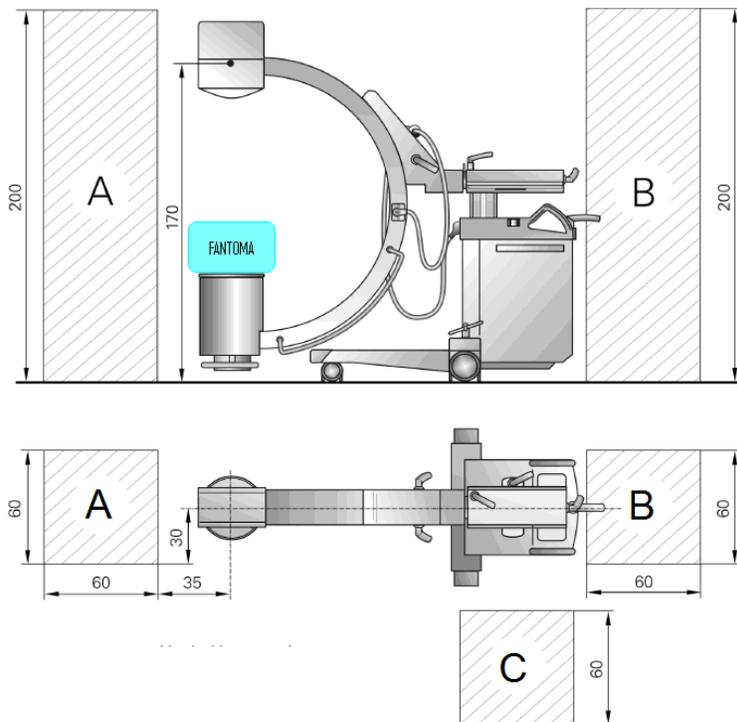


Figura 2. Diagrama de posicionamiento de mediciones en agua.

### 2.3.3 Indicadores de la dosis al trabajador.

Para evaluar los niveles de exposición ocupacional y del público, se realiza un levantamiento radiométrico alrededor del equipo, con fantoma (medición de haz disperso). El indicador es el equivalente de dosis ambiental en mSv/año.

Se evalúan los valores de tasas de dosis en diferentes zonas alrededor del equipo de acuerdo a las especificaciones del fabricante y el uso realmente dado por el operador. Se utiliza el equipo de Rayos X con incidencia antero-posterior y un fantoma de 20 cm de agua para simular la radiación dispersa proveniente del paciente. El tamaño de campo empleado es el máximo y una distancia fuente-fantoma de 60 cm. Los puntos de medición se realizan a una altura de 1 m y 1,7 m en diferentes ubicaciones (Fig. 3).



**Figura 3.** Zonas relevadas de radiación dispersa.

Se establecen tres zonas de medición (Fig. 3):

- ZONA A: situada por delante del tubo, simulando la condición del médico (aconsejado por fabricante).
- ZONA B: situada por detrás en consola, simulando la condición del operador (aconsejado por fabricante).
- ZONA C: situada al costado de consola, simulando la condición del operador normalmente empleada en la clínica.

Los valores obtenidos se comparan con los niveles de restricción de dosis establecidos

### 3. RESULTADOS

A continuación se presenta los valores obtenidos de cada uno de los puntos antes mencionados para los tres modelos de arco en C. Se presenta una tabla con el promedio de los valores obtenidos junto con la tolerancia establecida.

#### 3.1 Indicadores de calidad del haz

La Tabla 1 refleja los valores promedio obtenidos de Capa Hemireductora, Filtración total y Exactitud del kV. Todos los parámetros antes mencionados se determinaron empleando el equipo en modo manual, con el iris totalmente abierto, y seleccionando una tensión de tubo de 80 kV (valor de referencia).

**Tabla 1.** Valores promedio obtenidos para los indicadores de calidad del haz

EQUIPO	CHR (para 80 kV) [mm Al]	Filtración total [mm Al]	Exactitud kV (para 80 kV)
SIREMOBIL®	3,46	3,54	1,2%
VARIC®	4,83	7,00	1,6%
ORBIC®	4,99	7,24	1,4%
TOLERANCIA	>2,3	-	<10%

### 3.2 Indicadores de dosis en paciente

Los valores de dosis a la entrada del paciente se determinaron en modo manual y automático. La tabla refleja los valores obtenidos para modo manual de cada una de las modalidades presentadas por el equipo.

**Tabla 2.** Valores promedio obtenidos para los indicadores de dosis en paciente

EQUIPO	Rendimiento [ $\mu$ Gy/mAs]	$\dot{D}$ Fluoro Continua [mGy/min]	$\dot{D}$ Fluoro Pulsada [mGy/min]	$D$ Placa [mGy]
SIREMOBIL®	48,80	36,29	13,37	0,52
VARIC®	26,48	24,39	12,63	0,38
ORBIC®	11,95	25,96	13,57	0,78
TOLERANCIA	<60	<100	<25	<1,5

### 3.3 Indicador de dosis al personal

La tabla 3 refleja los valores de tasa de dosis obtenidos para cada uno de los modelos en modo manual, escopia continua, con una técnica de 110 kV, 3 mAs a un metro del suelo. La tabla 4 es la misma condición pero medido a 1,7 m del suelo. Las tolerancias se especifican según especificaciones del fabricante (Siemens)

**Tabla 3.** Valores promedio obtenido para cada uno de los modelos

EQUIPO	A [mSv/hr]	B [mSv/hr]	C [mSv/hr]
SIREMOBIL®	9,79	0,14	0,73
Tol. [mSv/hr]	17,1	0,77	NA
VARIC®	1,67	0,06	0,61
Tol. [mSv/hr]	8,37	0,27	1,24
ORBIC®	5,6	0,06	0,25
Tol. [mSv/hr]	8,37	0,27	1,24

#### 4. CONCLUSIONES

El control de calidad de los arcos en C fue realizado de manera satisfactoria sin presentar no conformidades dentro de los puntos evaluados.

Los indicadores de calidad del haz (capa hemireductora, kilovoltage y rendimiento) se encuentran dentro de los parámetros establecidos. Los modelos Varic® y Orbic® demuestran una mayor CHR y Filtración total del haz debido a la presencia de un filtro adicional de cobre.

Los indicadores de dosis en el paciente (tasa de dosis en la superficie de entrada y rendimiento) se muestran dentro de los valores adoptados por las normas internacionales. Se puede observar una dosis un 30% menor en los modelos Varic® y Orbic® gracias a la capa adicional de Cu antes mencionada. Asimismo también se observa una mejora significativa en el rendimiento del mismo.

La dosis en Fluoroscopia pulsada se mantiene entre los diferentes modelos debido a que se compensa la ganancia en la dosis antes mencionada con un aumento de la frecuencia de pulsos, esto conlleva a una mejora significativa para poder realizar estudios dinámicos.

La relación entre la dosis de entrada para modo continuo y pulsado es por lo menos del 50%.

Los indicadores de dosis al trabajador (levantamiento radiométrico) también se encuentran dentro de tolerancia. Si bien se observa que en la zona B (recomendada por fabricante) la exposición es menor, la experiencia de uso indica un mejor aprovechamiento del equipo en la zona C y se encuentra dentro de rangos aceptables de exposición.

La misma observación sobre la relación entre la dosis pulsada y continua puede observarse tanto para el paciente como para el trabajador, es por esto, que recomendamos fuertemente el uso al máximo del modo pulsado y solo usar el modo continuo en aquellas situaciones que sean necesarias. De esta manera el operador puede modificar el procedimiento para proteger la integridad del paciente y la suya.

A partir de los resultados obtenidos es posible proyectar diferentes trabajos a futuro, tales como la evaluación de la dosis específica en paciente, el análisis de la dosis involucrada en los estudios 3D, entre otras.

#### 5. REFERENCIAS

1. IAEA/ ARCAL XLIX, “Protocolos de control de calidad en radiodiagnóstico”, (2001).
2. SEFM-SEPR, “Protocolo español de control de calidad en radiodiagnóstico”, (2002).
3. Siemens, “Streamlined workflow and outstanding image quality in the OR”, ARCADIS Varic, (2013).
4. Siemens, “Enhanced precision in the OR”, ARCADIS Orbic /Orbic 3D, (2014).
5. Siemens, “Operator Manual”, POLYMOBIL Plus, (2014).