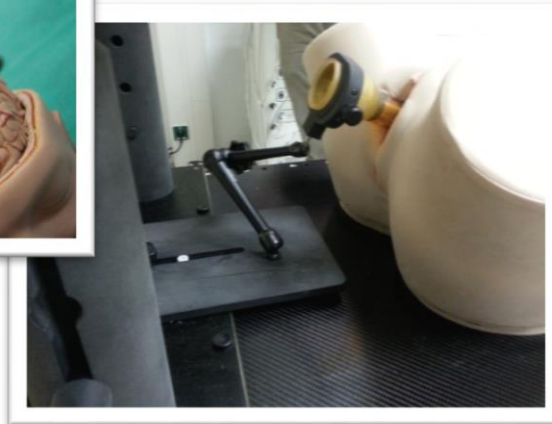
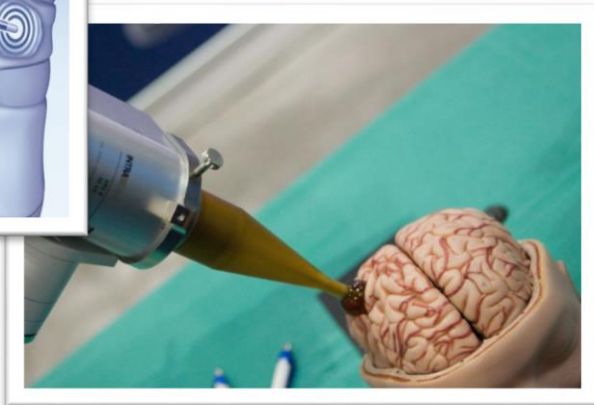




**Tema:**  
**CREACIÓN DE UN SOFTWARE DE CÁLCULO  
DOSIMÉTRICO PARA APLICADORES PLANOS DEL  
SISTEMA DE BRAQUITERAPIA ELECTRONICA -  
INTRABEAM**

Lic. Eduardo B. Carrasco Solis

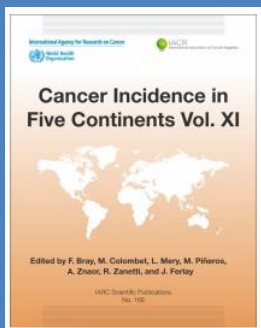




# Introducción



- 7.6 millones de personas mueren a causa del cáncer.
- 12.7 millones de nuevos casos en todo el mundo.



- En el periodo 2006 – 2011 se presentaron más de 100 mil casos nuevos de cáncer a nivel nacional .
- Las áreas mas congestionadas son la de medula ósea y Radioterapia.



*International Journal of Medical Sciences*

2012; 9(3):193-199. doi: 10.7150/ijms.3635

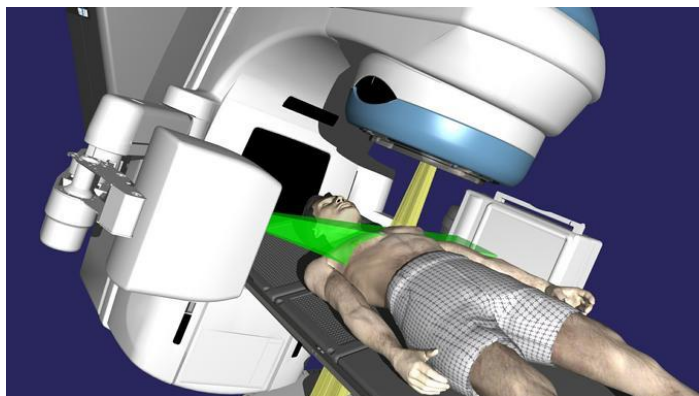
Review

## **Cancer and Radiation Therapy: Current Advances and Future Directions**

Rajamanickam Baskar<sup>1,2, ✉</sup>, Kuo Ann Lee<sup>1</sup>, Richard Yeo<sup>1</sup> and Kheng-Wei Yeoh<sup>1, ✉</sup>

- Aproximadamente el 50% de los pacientes con cáncer recibe radioterapia durante el tratamiento de la enfermedad.
- Alrededor del 40% de los tratamientos con radioterapia lleva a la cura de la enfermedad

## Radioterapia



## Radioterapia Intraoperatoria

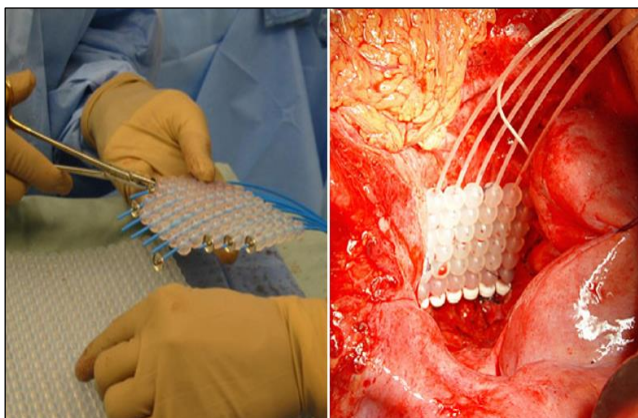


## Equipos para Radioterapia Intraoperatoria

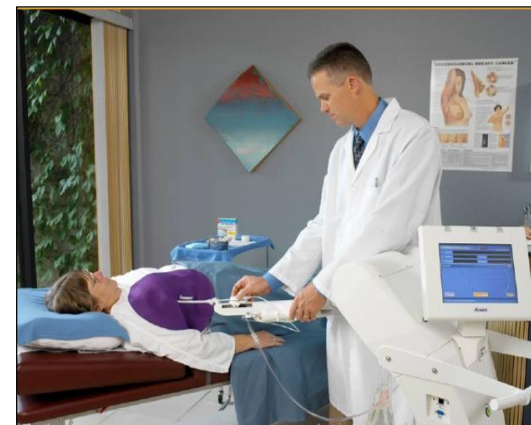
### Aceleradores Lineales



### Equipos de Braquiterapia



### Dispositivos E. de Irradiación





- Sonda de Rayos X (Unidad - XRS )
- Fuente de rayos X en miniatura.
  - 10 cm de longitud.
  - 3.2 mm de diámetro.
  - Blanco de Oro.
  - funciona con 50kVp/40  $\mu$ A o 40kVp/40  $\mu$ A.
  - Baja energía de emisión cuasi-isotrópica.
  - Monitor Interno de Radiación (IMR)
    - Monitoriza constantemente la tasa de dosis.

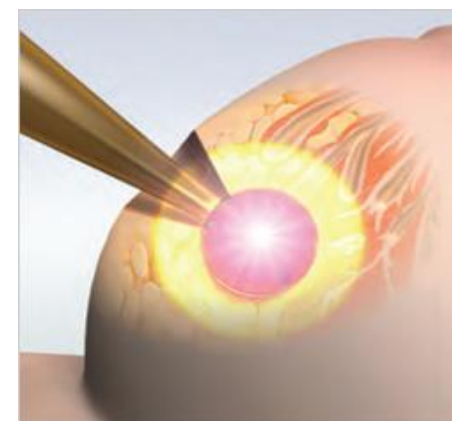


INTRABEAM Spherical Applicator

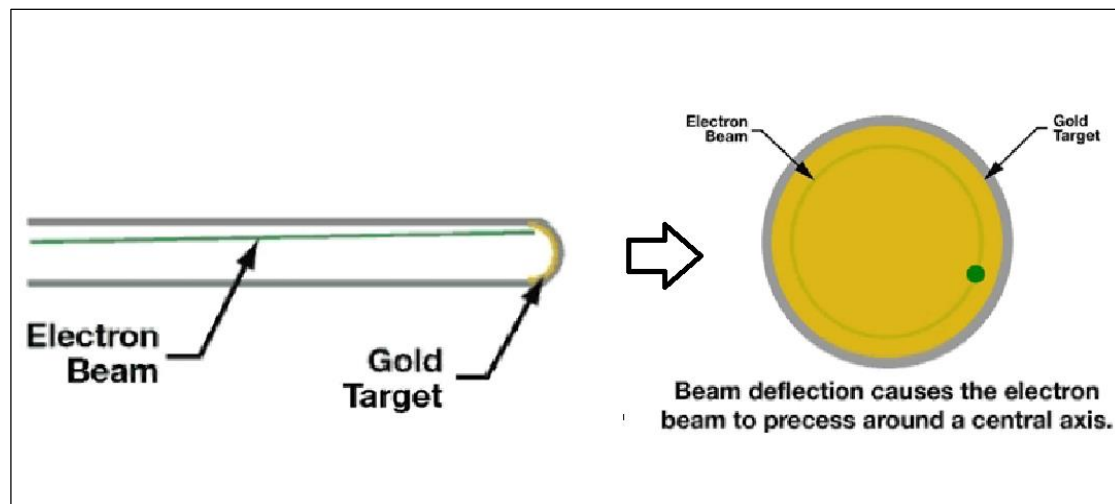
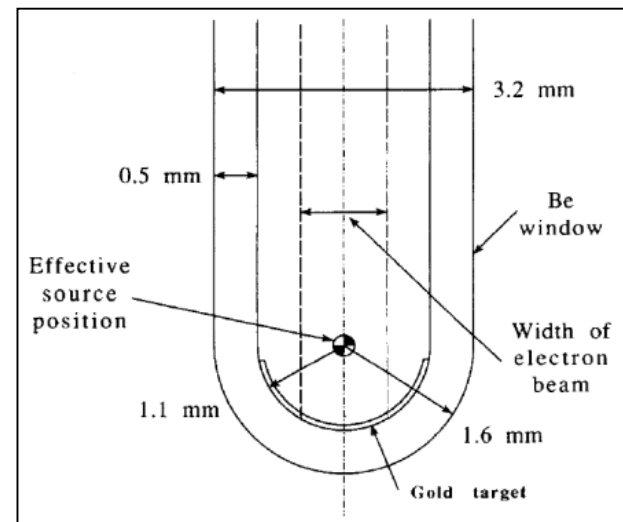
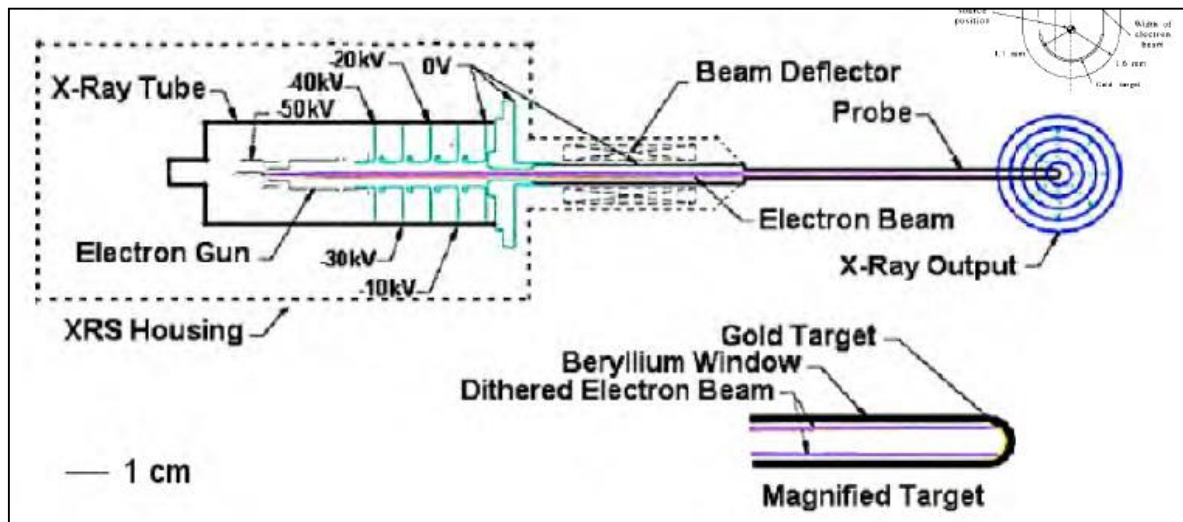
INTRABEAM Cylinder V Applicator Set

INTRABEAM Needle A

INTRABEAM Flat Applicator Set



# Intrabeam





# Intrabeam



JOURNAL OF APPLIED CLINICAL MEDICAL PHYSICS, VOLUME 7, NUMBER 3, SUMMER 2006

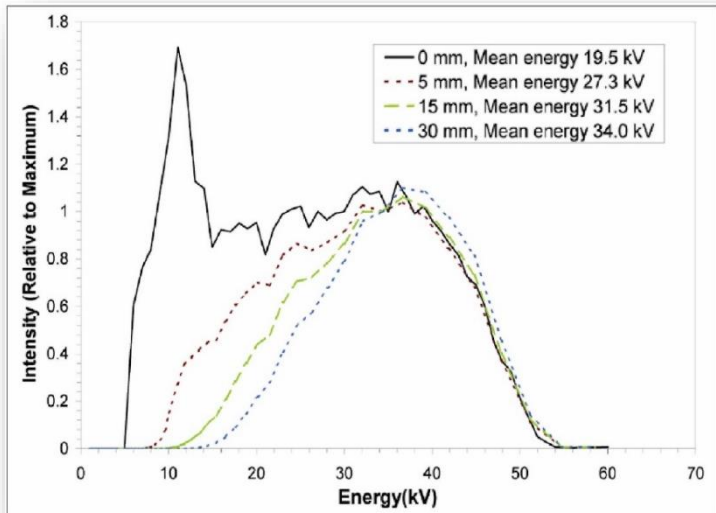
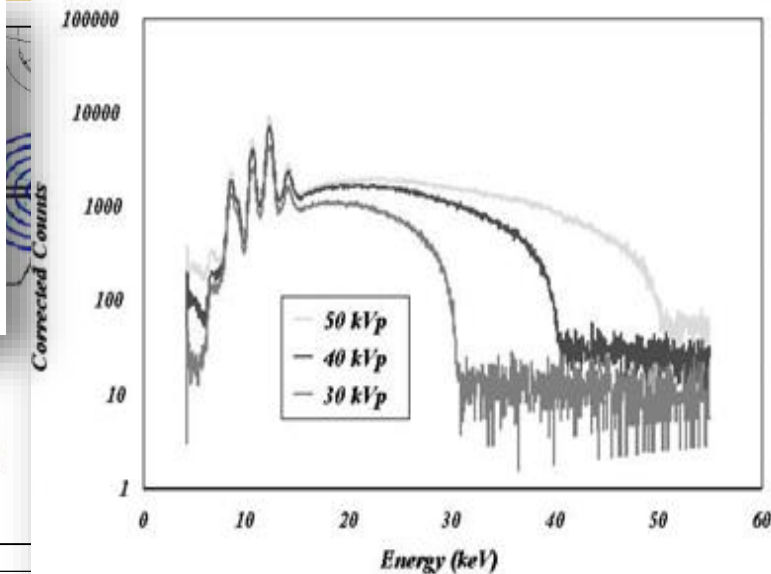
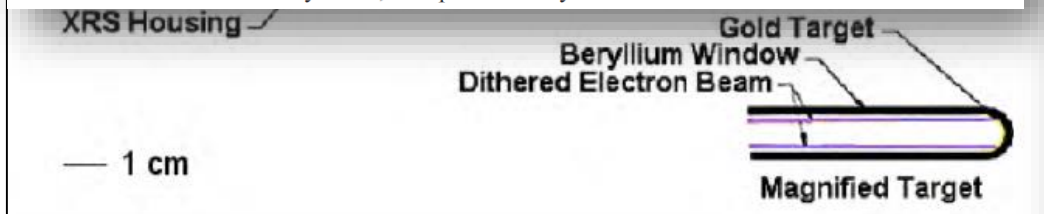
## Long-term stability of a 50-kV X-ray unit for stereotactic irradiation

Peter J. Biggs

Radiation Oncology Department, Massachusetts General Hospital, Fruit Street, Boston, Massachusetts 02114 U.S.A.

pjbiggs@partners.org

Received 8 February 2006; accepted 12 May 2006



JOURNAL OF APPLIED CLINICAL MEDICAL PHYSICS, VOLUME 10, NUMBER 4, FALL 2009

## Suitability of radiochromic films for dosimetry of low energy X-rays

Martin A Ebert,<sup>1,2,a</sup> Ali H Asad,<sup>3</sup> Salim A Siddiqui,<sup>3</sup>

Department of Radiation Oncology,<sup>1</sup> Sir Charles Gairdner Hospital, Nedlands, Western Australia, 6009; School of Physics,<sup>2</sup> University of Western Australia, Crawley, Western Australia, 6009; Department of Imaging and Applied Physics,<sup>3</sup> Curtin University of Technology, Bentley, Western Australia, 6102

Martin.Ebert@health.wa.gov.au

ron  
axis.

$$FT_d(z) = \frac{\dot{D}(z)_d^{Apl}}{\dot{D}(r_d+z)^{XRS}}$$

**Equipment Inventory** | System Quality Assurance | Enter | rescript | Verify Treatment Parameters | Treatment | Review Treatment | Calibration

**XRS**  
 No. 000170 | Voltage 50 [kV] | Type Spherica | Patient ID ID1234  
 Current 40 [μA] | Size[cm] 3.0 | No. 265401 | Treatment # 404  
 XRS Name 1st XRS 50

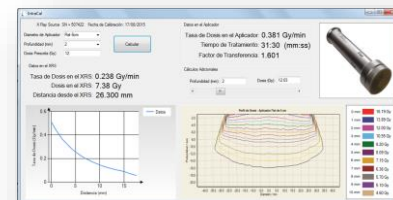
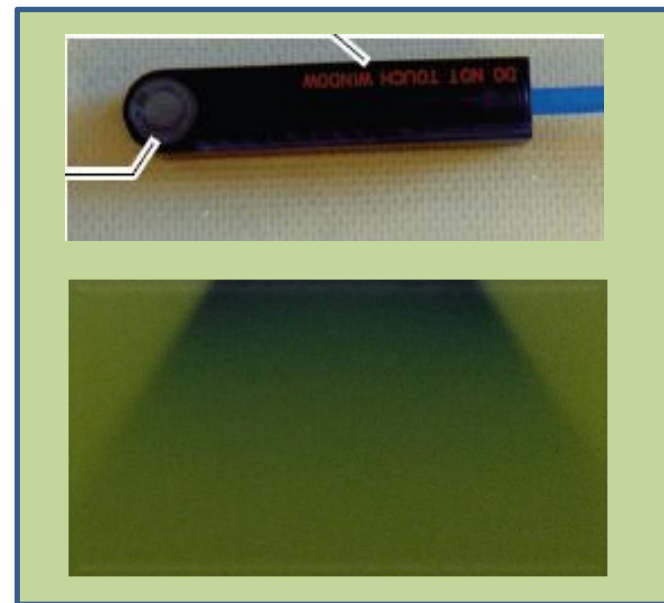
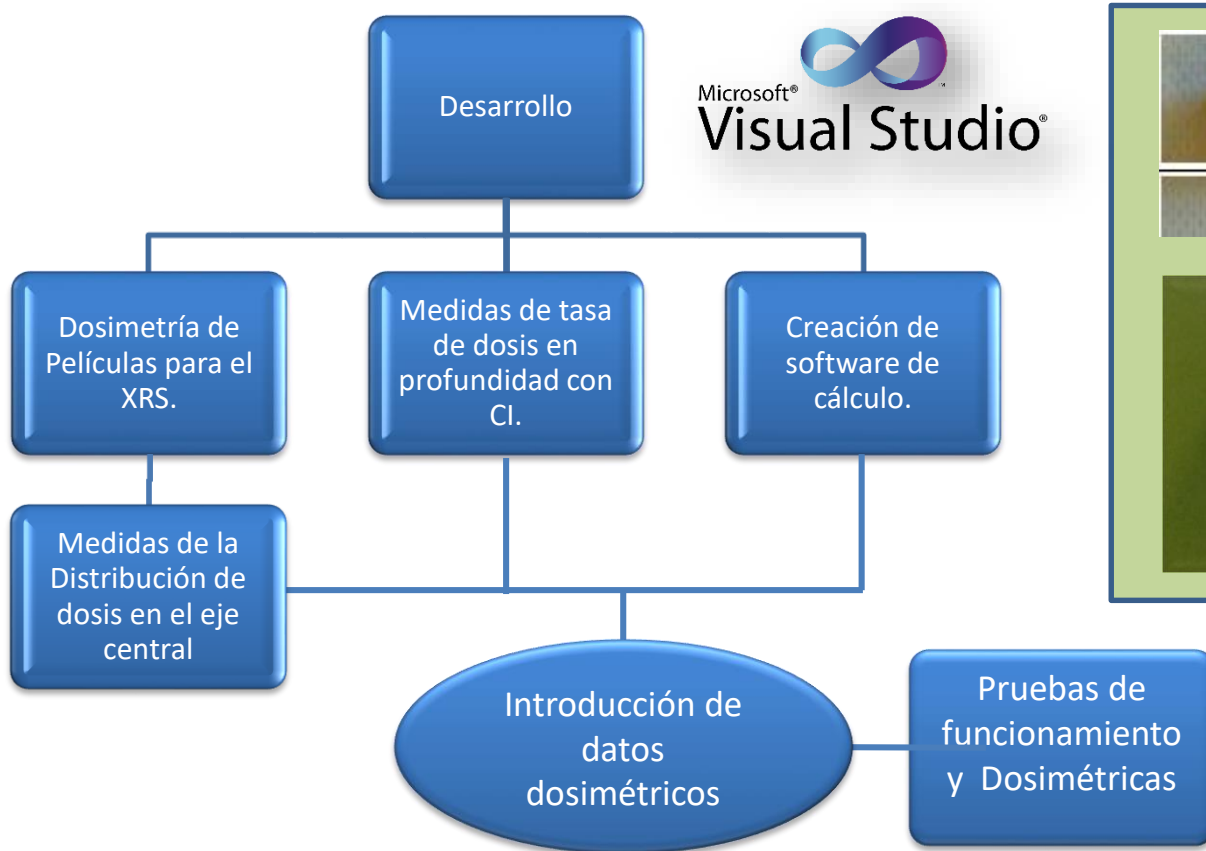
Prescription Dose 20.00 [Gy] | Treatment Time 0:23:49 [h:m:s] | Prescr. Complete  
 Treatment Depth 0.00 mm from Surface | Dose Rate at Depth 0.840 [Gy/min]

Depth [mm from Surface]	Dose [Gy]
10.0	5.70

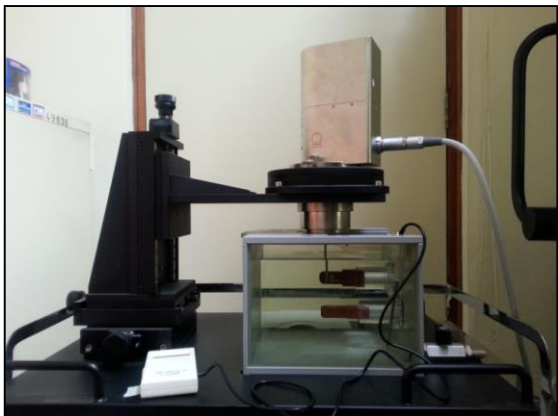


Tema:

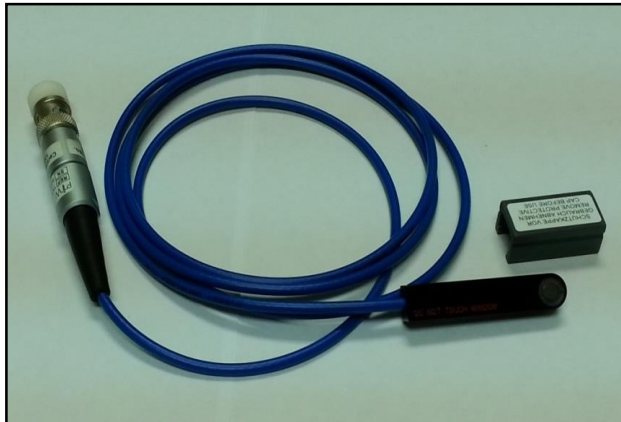
## CREACIÓN DE UN SOFTWARE DE CÁLCULO DOSIMÉTRICO PARA APLICADORES PLANOS DEL SISTEMA DE BRAQUITERAPIA ELECTRONICA - INTRABEAM







**Fantoma de Agua (Intrabeam Water Phantom)**



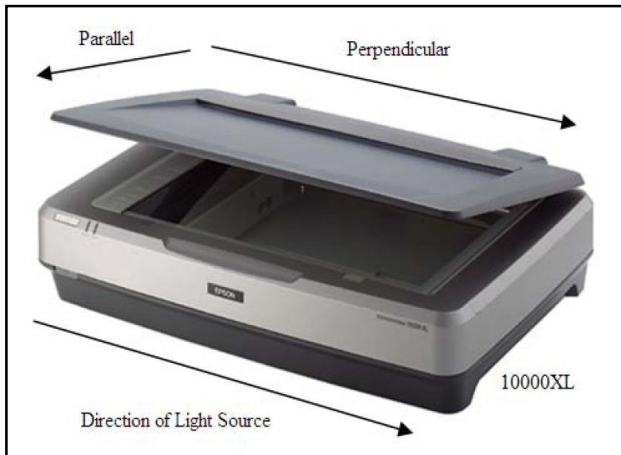
**Cámara de Ionización Soft X-Ray 0.0053 cm<sup>3</sup>**



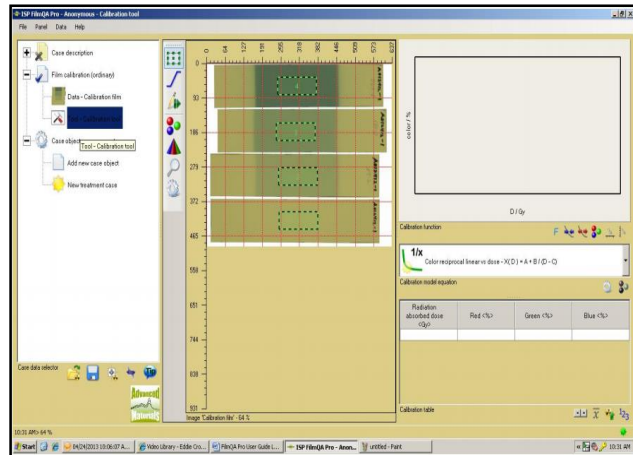
**Electrómetro Unidos E (PTW)**



**Película Radiocrómica**



**Escáner de Películas 10000-XL**



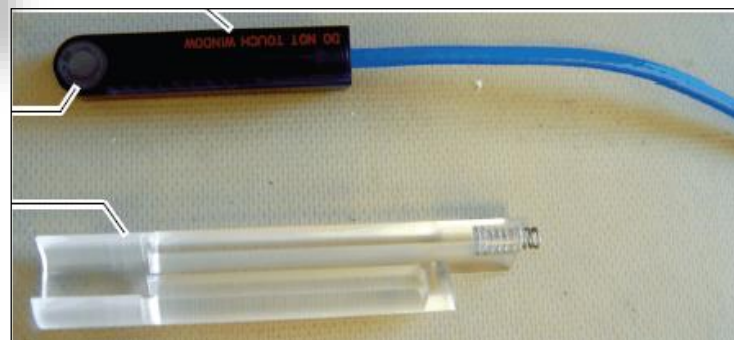
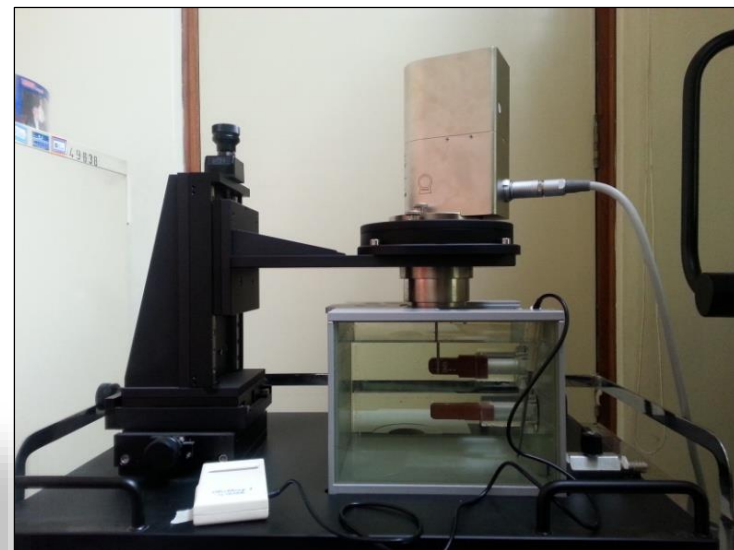
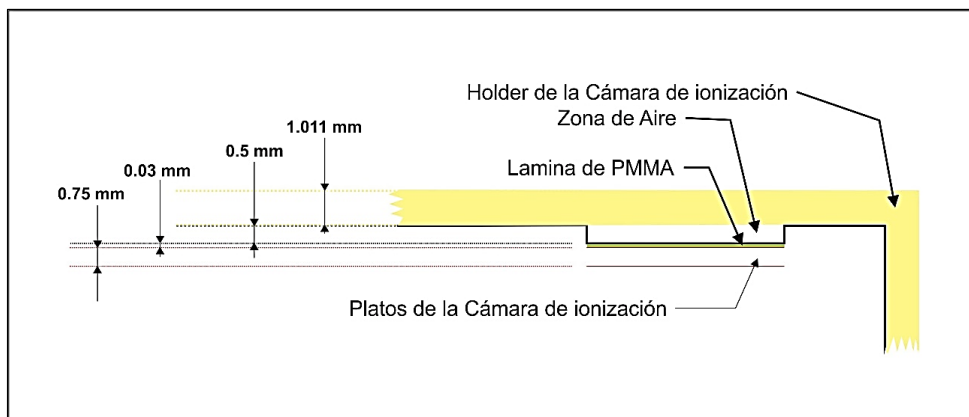
**Software Film – QA.**



# Metodología

# Medidas de Tasa de Dosis en Profundidad

$$\dot{D}_{w,Q} \left( \frac{\text{Gy}}{\text{min}} \right) = M_Q(C) N_{k,Q_0} \left( \frac{\text{Gy}}{C} \right) \frac{T(K)}{T_0(K)} \frac{P_0(\text{hPa})}{P(\text{hPa})} k_{Q,Q_0} k_{AK \rightarrow Dw} 1 \left( \frac{1}{\text{min}} \right)$$



$$d_w = \frac{\sigma_p}{\rho_w} = \frac{\sigma_p}{1\text{g/cm}^3}$$

$$d_w = \frac{\sigma_p}{\rho_w} = \frac{\sigma_p}{1\text{g/cm}^3}$$

$$d_{IC} = \frac{d_{pc}}{2} + \frac{\sigma_p}{1\text{g/cm}^3}$$

$$r_1 = d_{IC} + d_A + d_H$$



# Medidas de Tasa de Dosis en Profundidad



$$\dot{D}_{w,Q} \left( \frac{\text{Gy}}{\text{min}} \right) = M_Q(C) N_{k,Q_0} \left( \frac{\text{Gy}}{\text{C}} \right) \frac{T(K)}{T_0(K)} \frac{P_0(\text{hPa})}{P(\text{hPa})} k_{Q,Q_0} k_{AK \rightarrow DW} 1 \left( \frac{1}{\text{min}} \right)$$

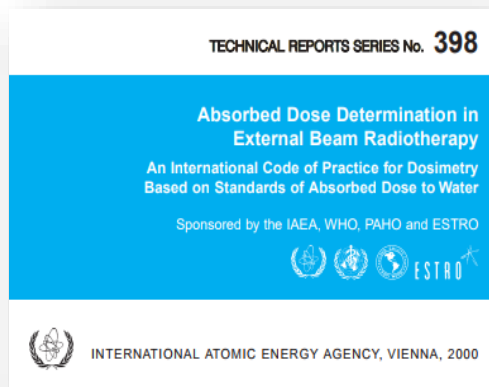
$$N_{k,Q_0} = 6.3890 \times 10^9 \frac{\text{Gy}}{\text{min}}$$

$$p_0 = 1013.25 \text{ hPa}$$

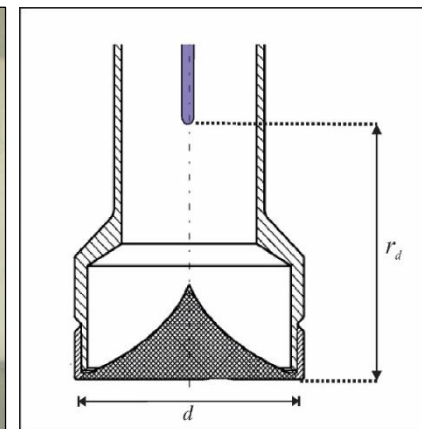
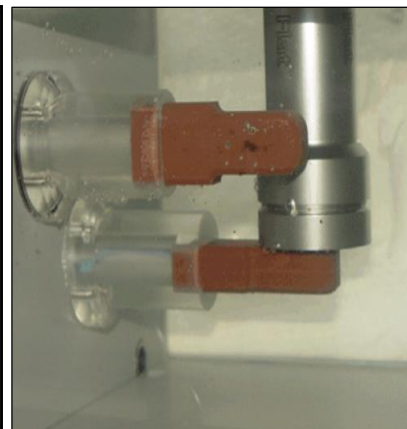
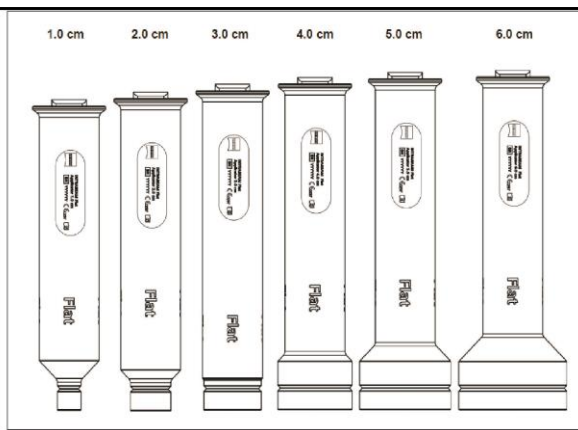
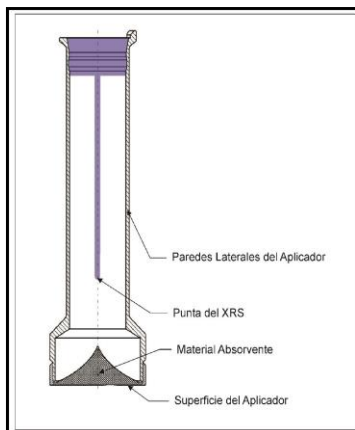
$$T_0 = 295.20 \text{ K}$$

$$k_s = a_0 + a_1 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) + a_2 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^2 = 1$$

$$k_{pol} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M} = 1$$

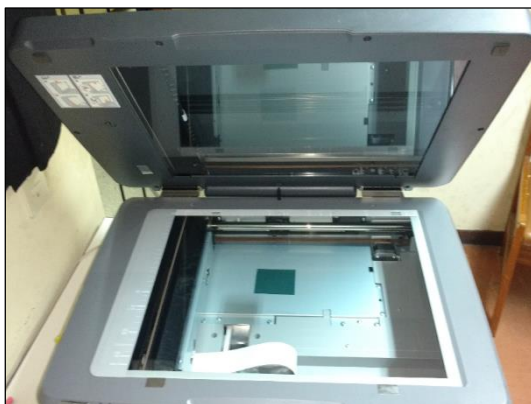


Diámetro del Aplicador ( $d$ )	Distancia desde la punta del XRS hasta la superficie del aplicador ( $r_d$ )
10 mm	9.5 mm
20 mm	14.0 mm
30 mm	18.0 mm
40 mm	21.5 mm
50 mm	24.3 mm
60 mm	25.5 mm



La caracterización del escáner de películas consiste en cuantificar los diferentes parámetros que intervienen en el proceso de lectura de la película.

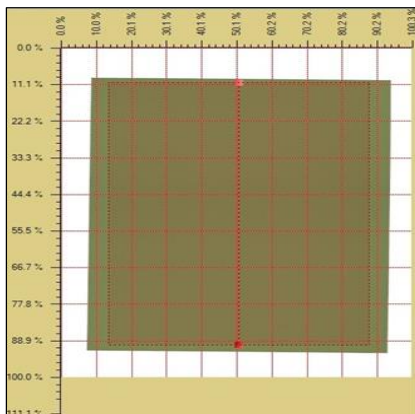
## Orientación de la Película en el Escáner



## Características del Escaneo

- Fuente de Luz blanca.
- Formato RGB, rojo, verde y azul (RGB por sus siglas en inglés).
- 48 bit de profundidad de color.
- Todas las opciones del procesamiento de las imágenes fueron desactivadas.
- Se utilizó una resolución de 72 puntos por pulgada (ppp).
- Todas las PR se escanearon en la posición central.
- Uso de cartulina negra para evitar la contribución de luz dispersa por la lámpara del escáner.
- Se dejó 15 minutos para calentar la lámpara del escáner.
- Las imágenes se guardaron en formato TIFF para su procesamiento.
- Solo se utilizó el canal rojo.

## Uniformidad en la Respuesta del Escáner.





# Caracterización de Películas



Respuesta Post-Irradiación

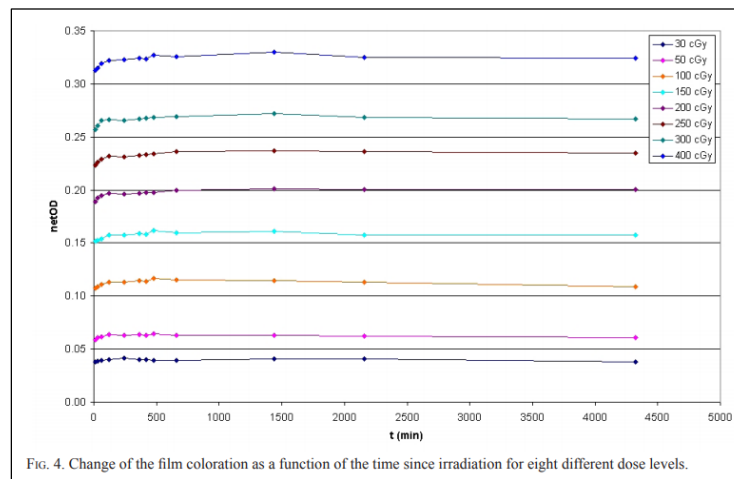
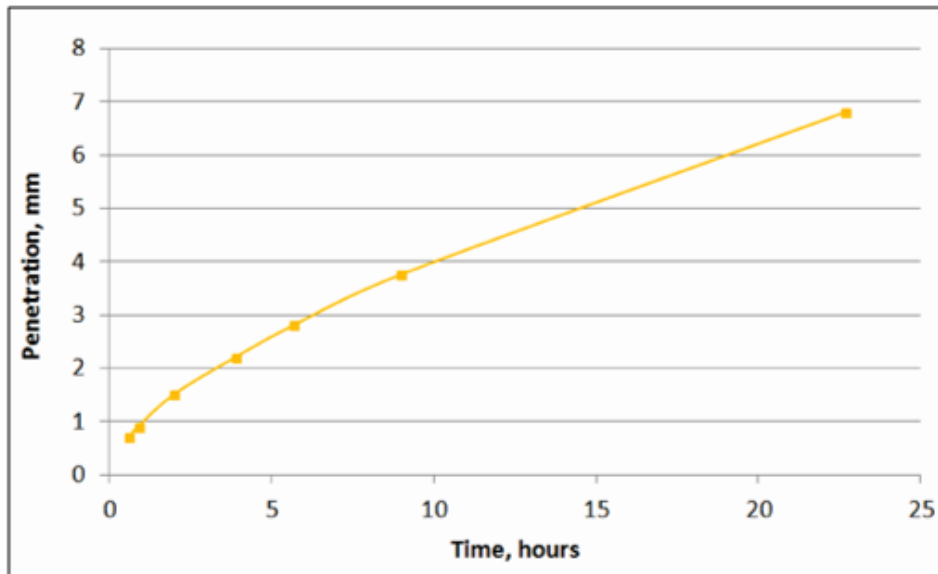


Fig. 4. Change of the film coloration as a function of the time since irradiation for eight different dose levels.

Penetración del agua en la película.

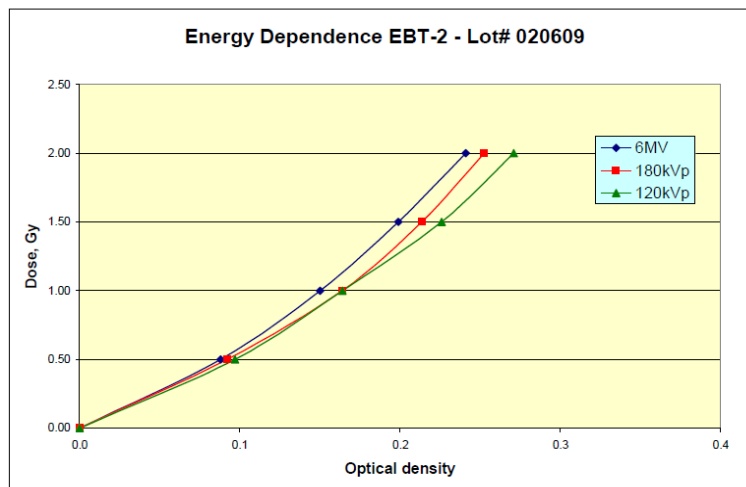
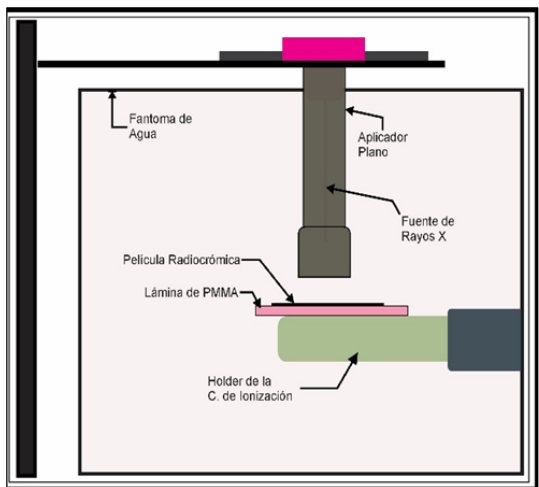
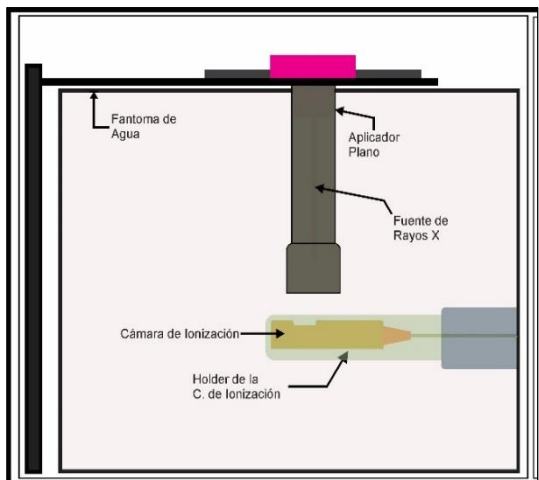


Figure 9: Energy Dependence of GAFCHROMIC® EBT2 Dosimetry Film Lot# 020609

Dependencia Energética



El proceso de calibración de películas consiste en establecer una relación entre la densidad óptica de la película irradiada y el valor de dosis asociado a este valor.



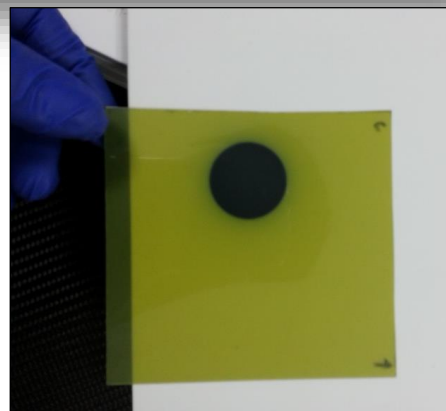
JOURNAL OF APPLIED CLINICAL MEDICAL PHYSICS, VOLUME 15, NUMBER 1, 2014

## A novel approach for superficial intraoperative radiotherapy (IORT) using a 50 kV X-ray source: a technical and case report

Frank Schneider,<sup>1a</sup> Sven Clausen,<sup>1</sup> Johannes Thölking,<sup>1</sup> Frederik Wenz,<sup>1</sup> Yasser Abo-Madyan<sup>1,2</sup>

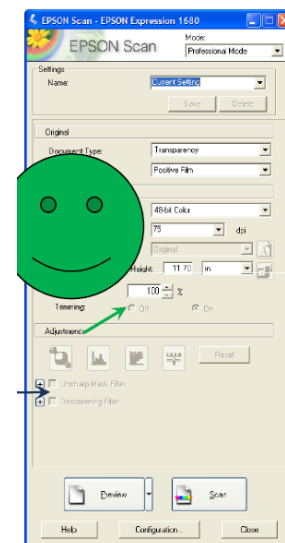
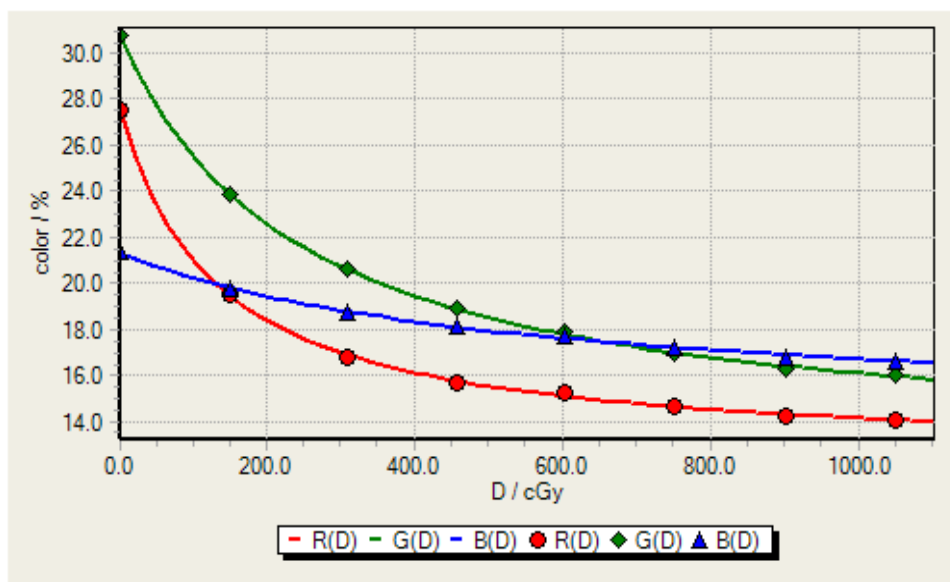
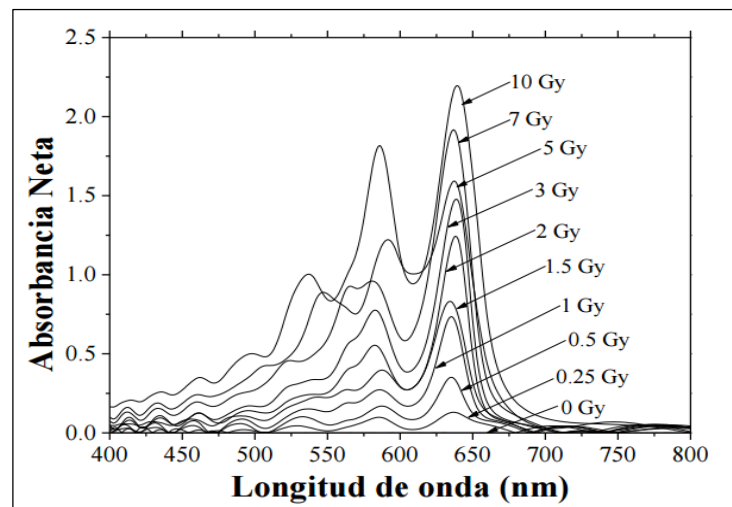
TABLE 1. Uniformity of flat applicator profiles at depths of maximum homogeneity ( $dh_{max}$ ), 1 mm and 5 mm.

Size of Flat Applicator	$dh_{max}$ (mm)	Uniformity in 1 mm	Uniformity in $dh_{max}$	Uniformity in 5 mm
1 cm	6.0	1.25	1.03	1.05
2 cm	5.0	1.26	1.02	1.02
3 cm	4.0	1.31	1.03	1.08
4 cm	3.0	1.31	1.02	1.13
5 cm	2.0	1.15	1.04	1.20
6 cm	1.5	1.09	1.08	1.23



# Calibración de Películas

- Determinación de la tasa de dosis.
- Una película sin irradiar.
- Rango de 0 Gy a 10 Gy (11Gy Max).
- Almacenamiento de 48 horas post-irradiación.
- Suprimir las correcciones de filtrado.





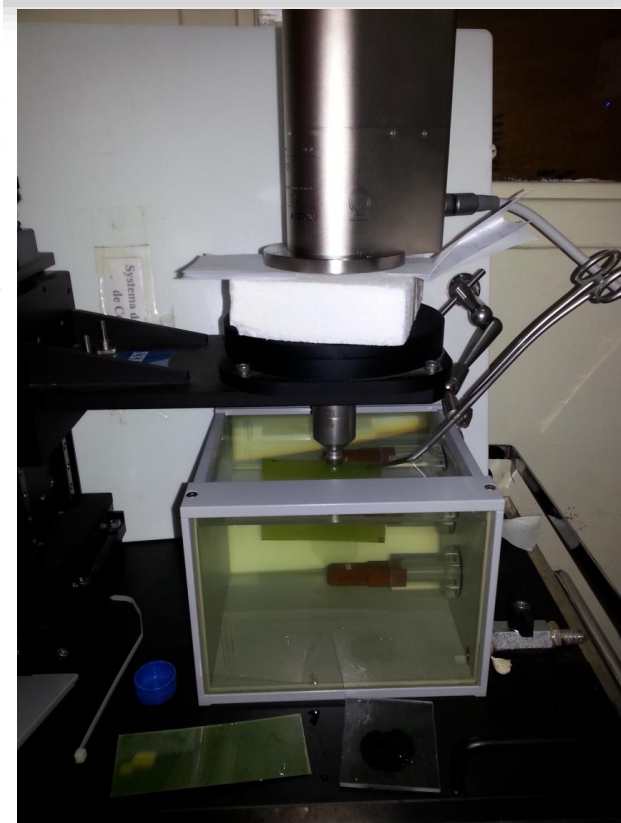
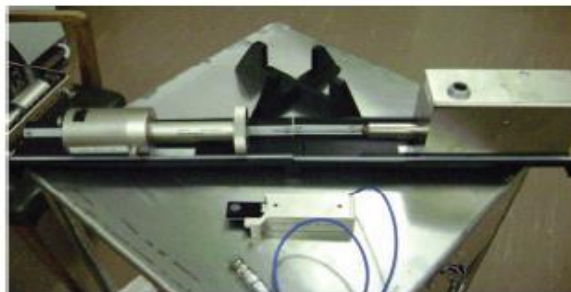


## Quality assurance and independent dosimetry for an intraoperative x-ray device

D. J. Eaton<sup>a)</sup>

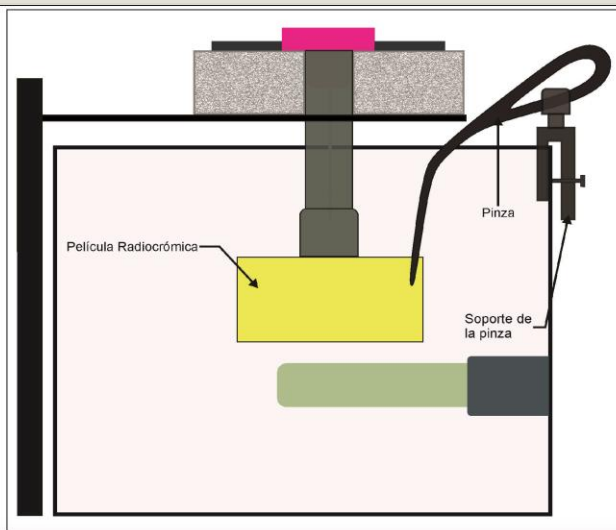
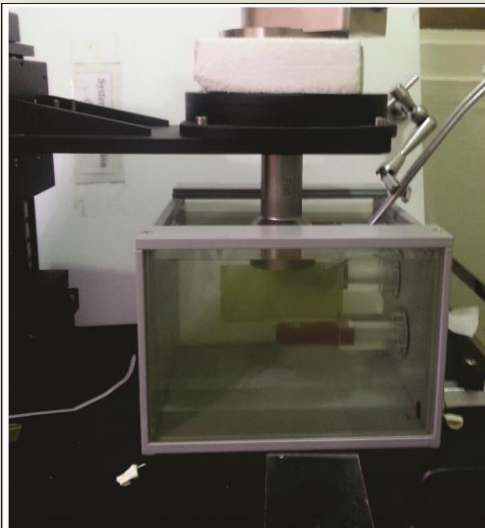
*Radiotherapy Physics, Royal Free Hospital, London NW3 2QG, United Kingdom*

(Received 15 June 2012; revised 17 September 2012; accepted for publication 2 October 2012; published 25 October 2012)



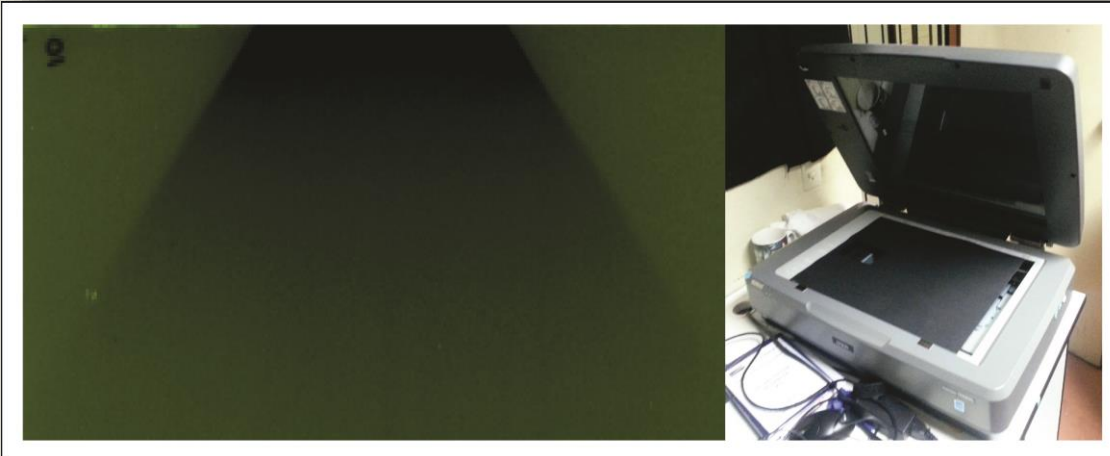
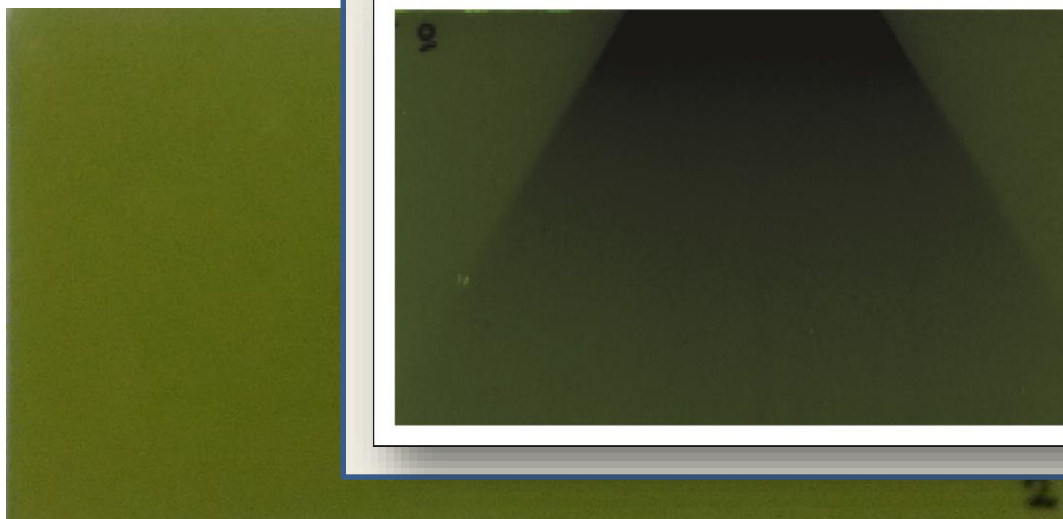


# Medidas con Películas Radiocrómicas

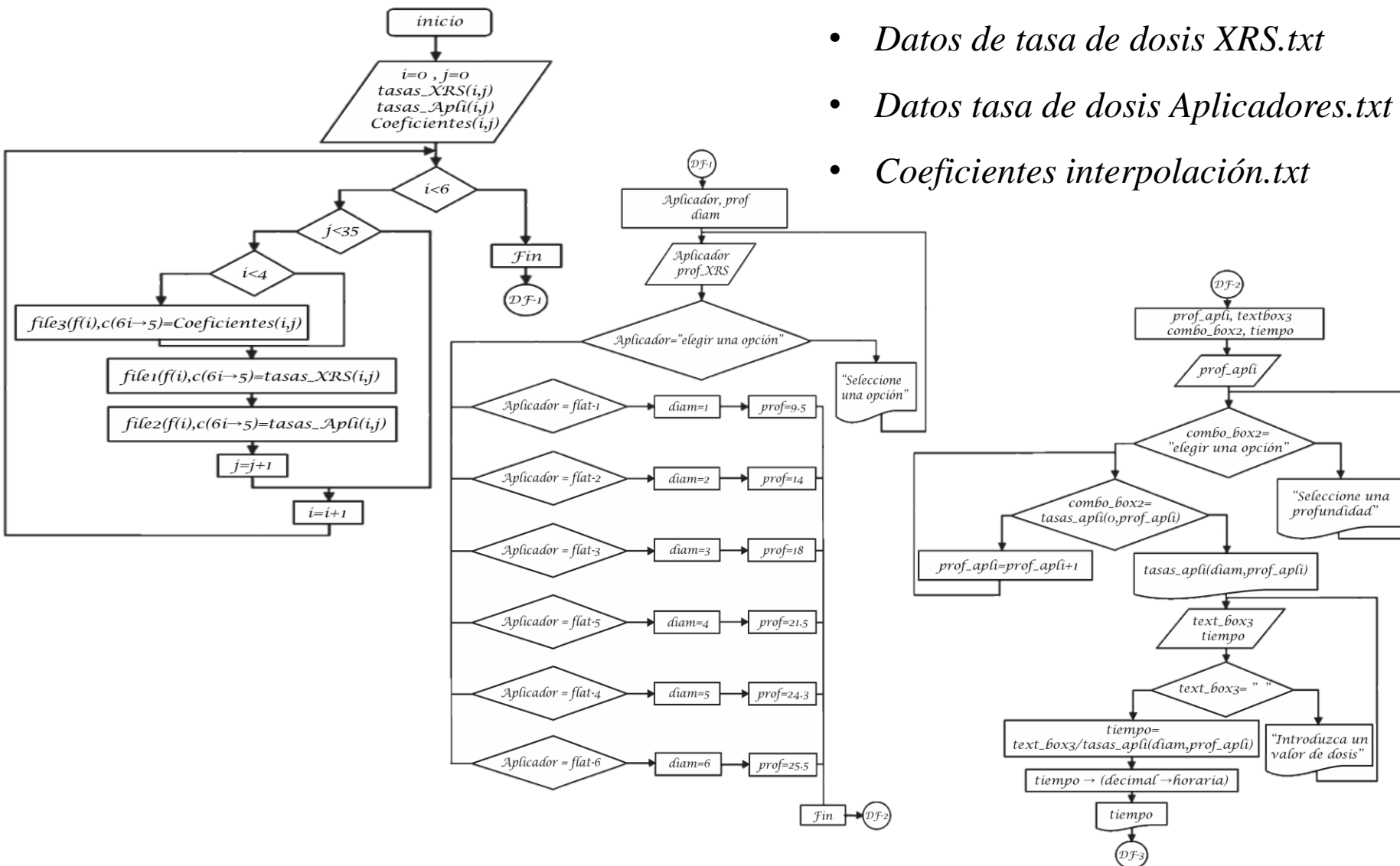


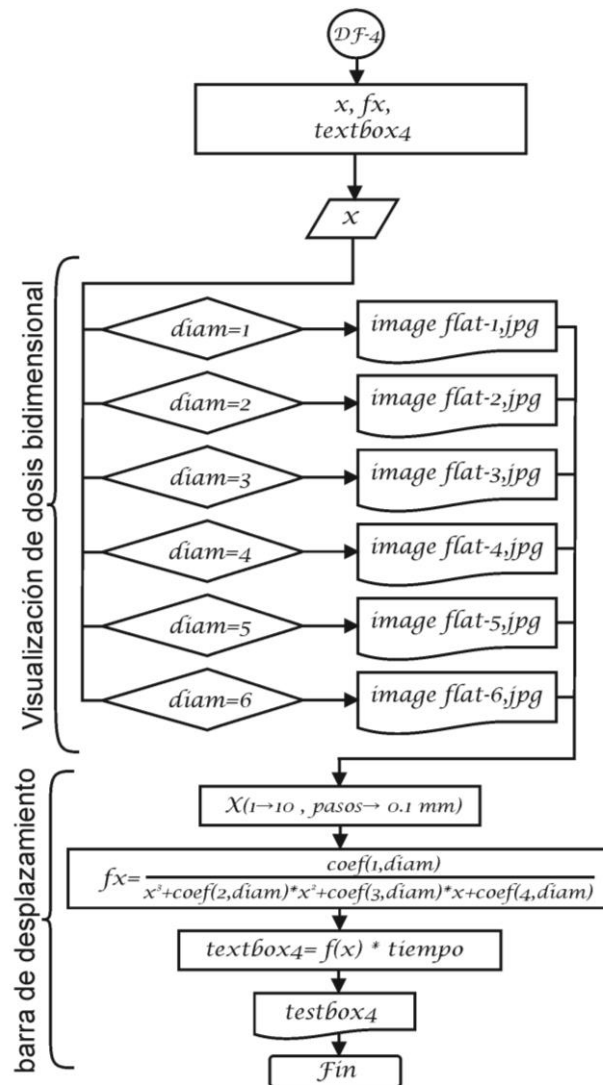
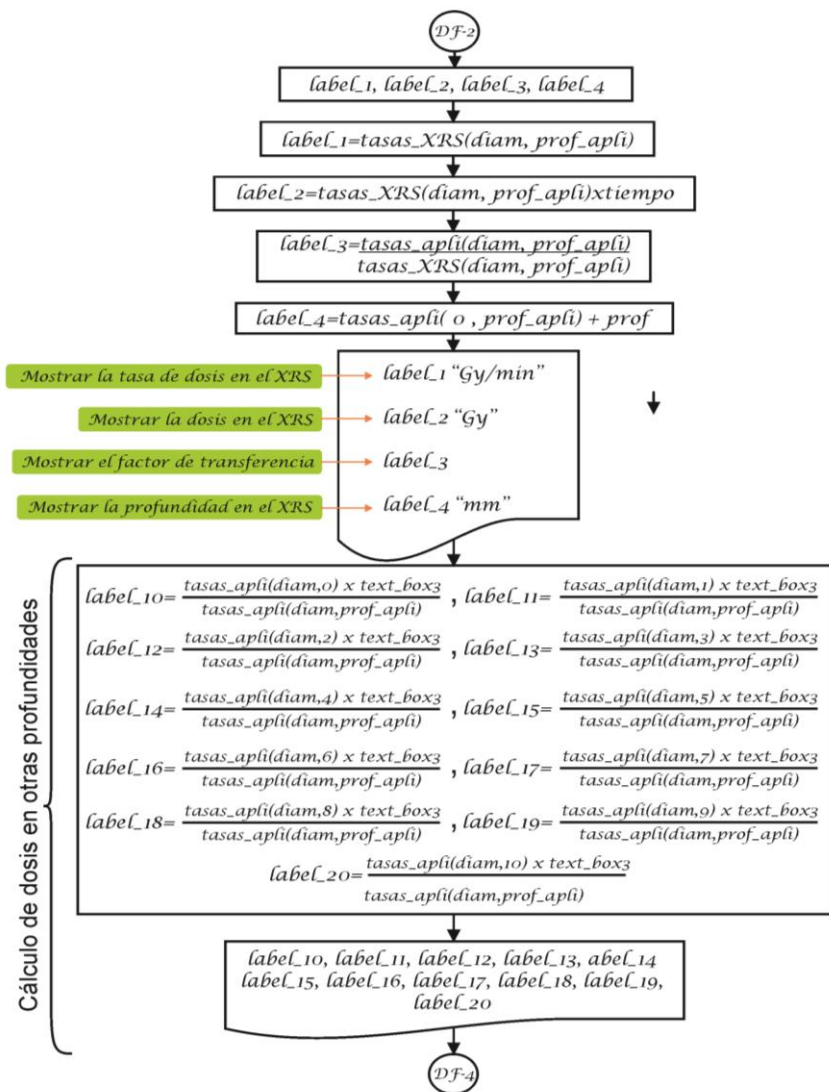
operative

r 2012;



- *Datos de tasa de dosis XRS.txt*
- *Datos tasa de dosis Aplicadores.txt*
- *Coefficientes interpolación.txt*







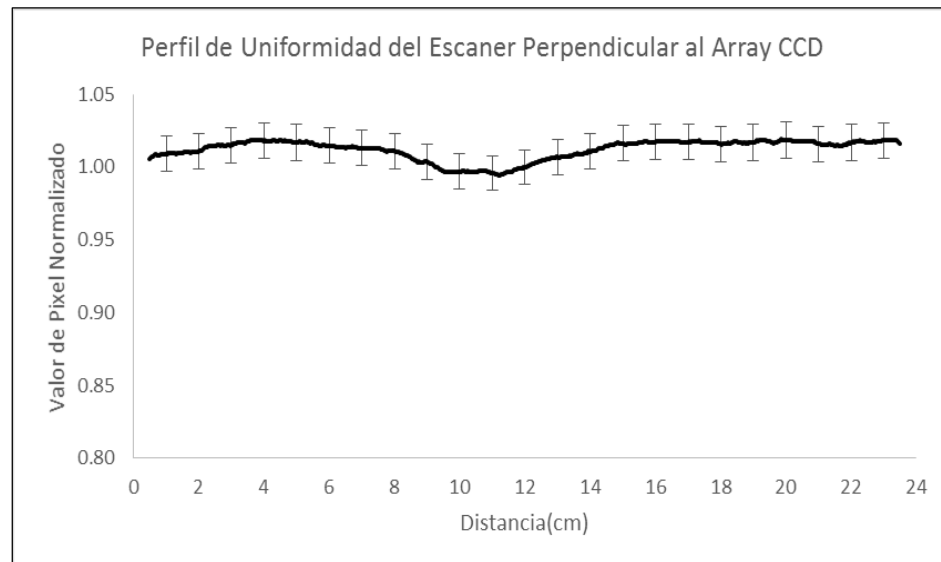
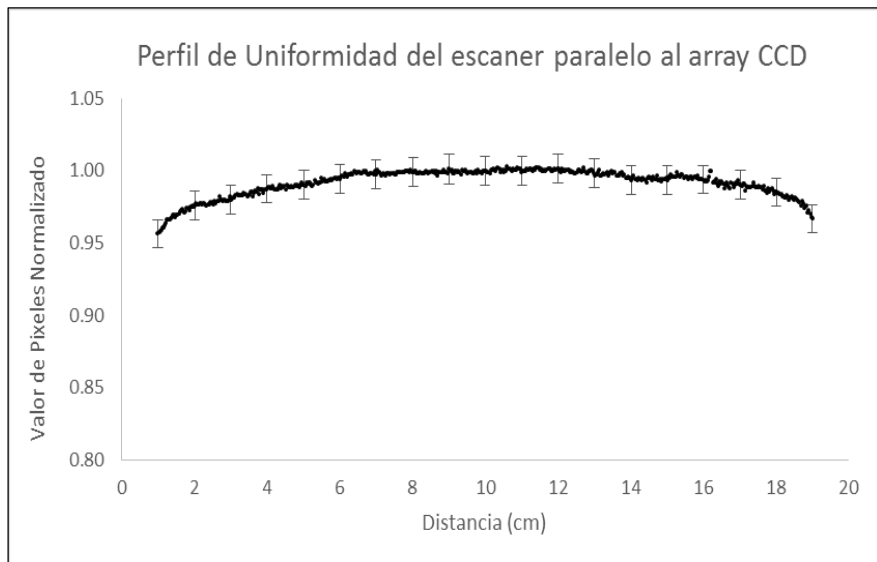
# Resultados



# Caracterización de Películas



## Uniformidad del Escáner



- Análisis sobre 500 pixeles transversal al eje central.
- Disminución de la respuesta de 4.3%.
- La mayor variación máxima se da a 2cm de los bordes

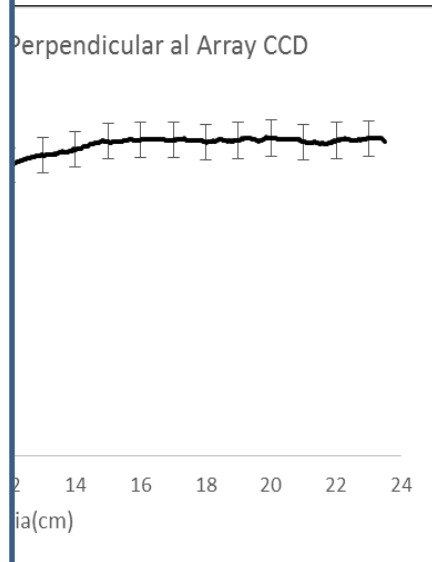
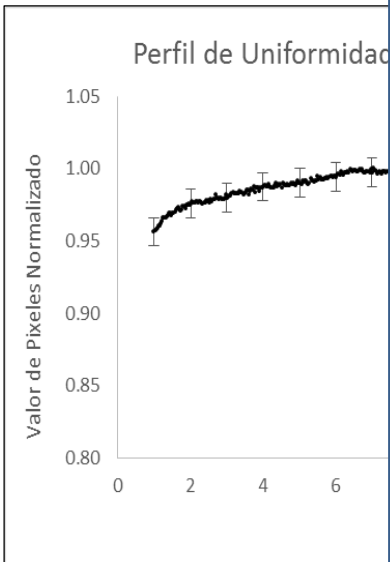
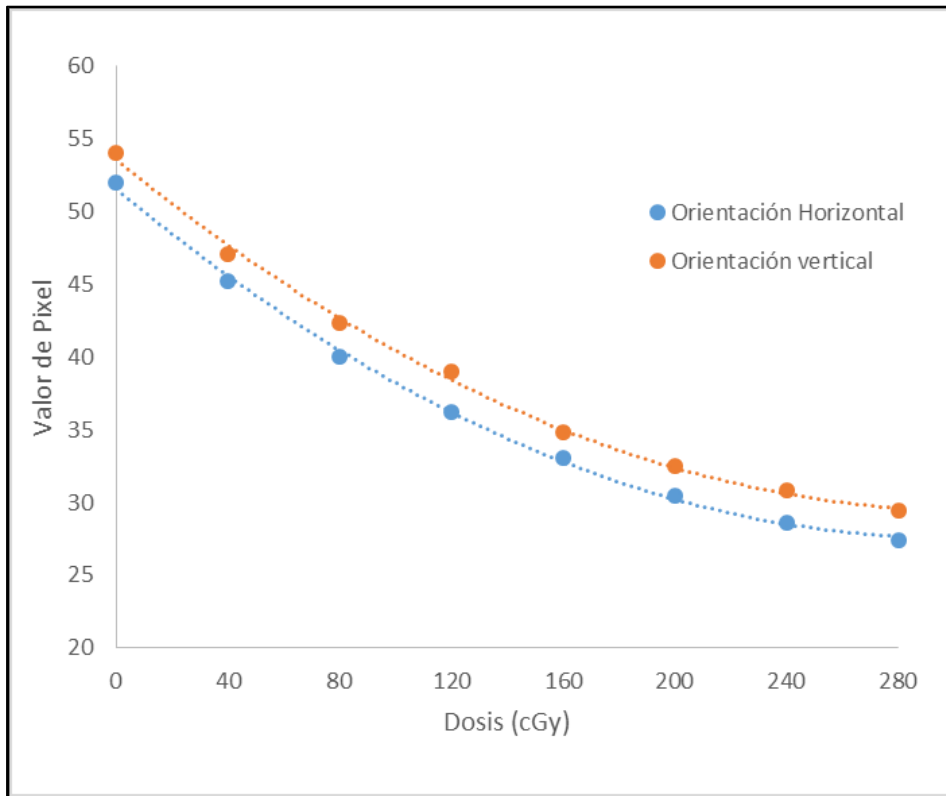
- Análisis sobre 500 pixeles transversal al eje central.
- Desviación de 1.9% por encima del valor medio.



# Caracterización de Películas



## Orientación de la Película en el Escáner

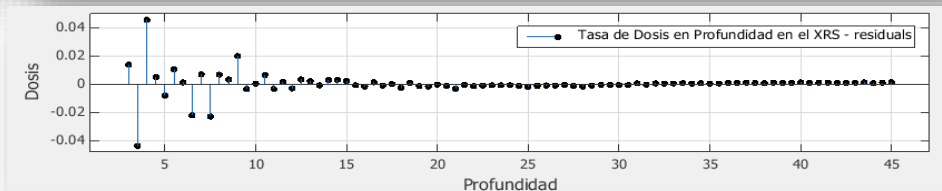
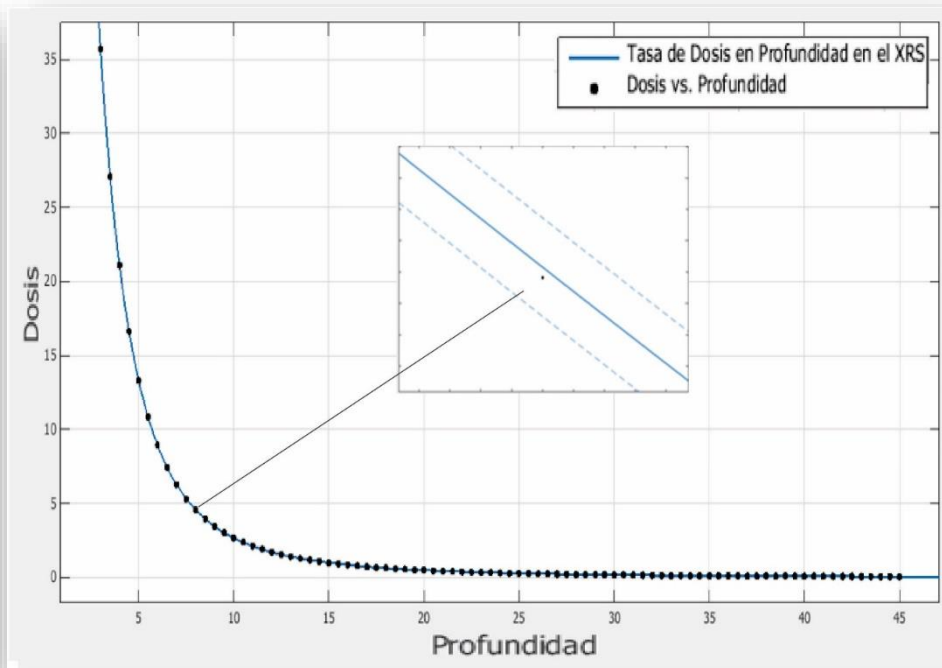
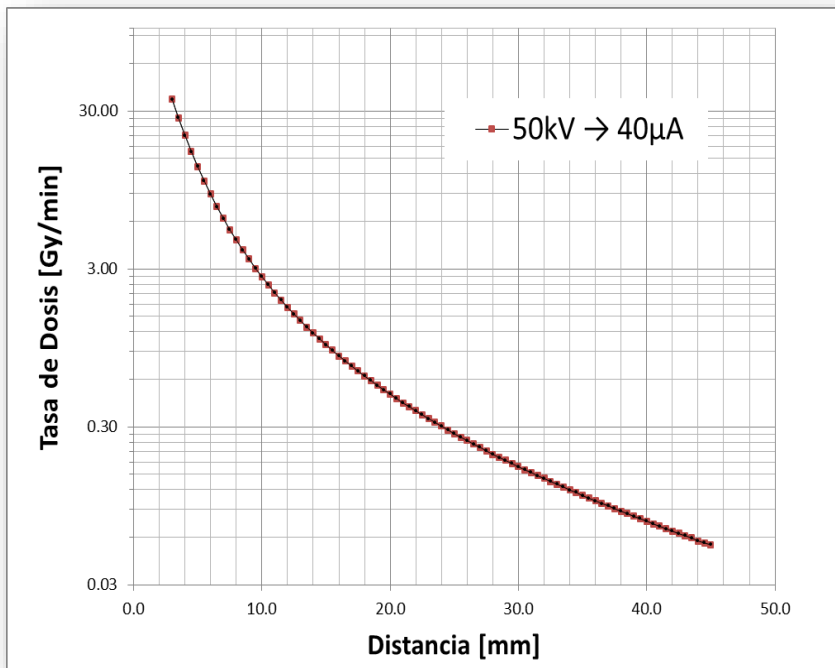


- Análisis sobre 5 cm de longitud en el eje central.
- Disminución de la uniformidad de la película a lo largo del eje transversal al eje central.
- La mayor variación se encuentra en los primeros 2cm de los bordes.

...les transversal al eje central.  
...r encima del valor



# Medida de Tasa de Dosis en el XRS



- 3 mm → 35.7Gy/min
- 9 mm → 3.47 Gy/min
- Mayor desviación fue de 0.049Gy/min a 4mm
- R2 = 1
- RMSE = 0.008897

$$\dot{D}(z)_w^{XRS} \left[ \frac{Gy}{min} \right] = f_{b_1}(z) f_{a,u}(z) f_{D_0}(z)$$

$$f_{b_1}(z) = \left( \frac{1 - \frac{b_1}{10}}{1 - \frac{b_1}{z}} \right)^2$$

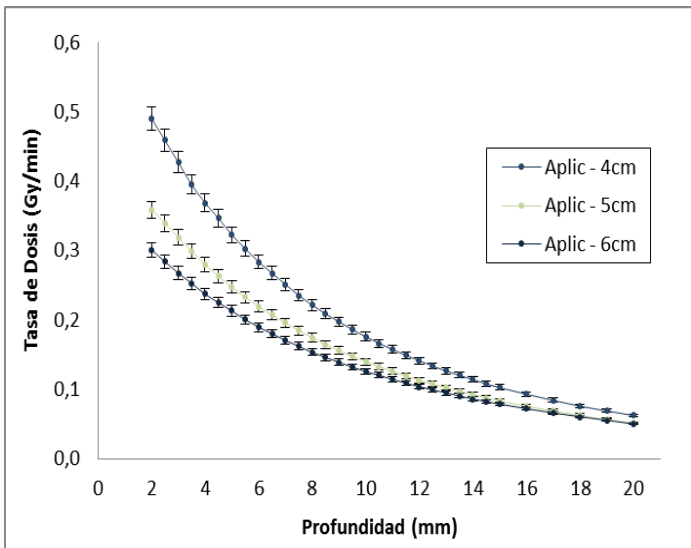
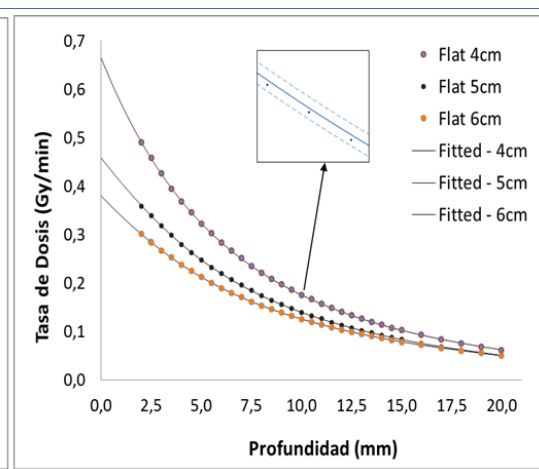
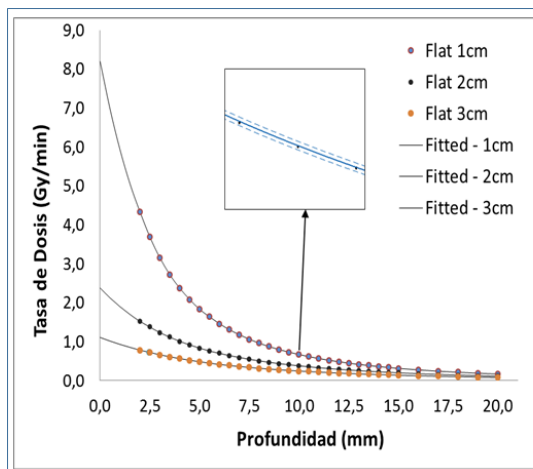
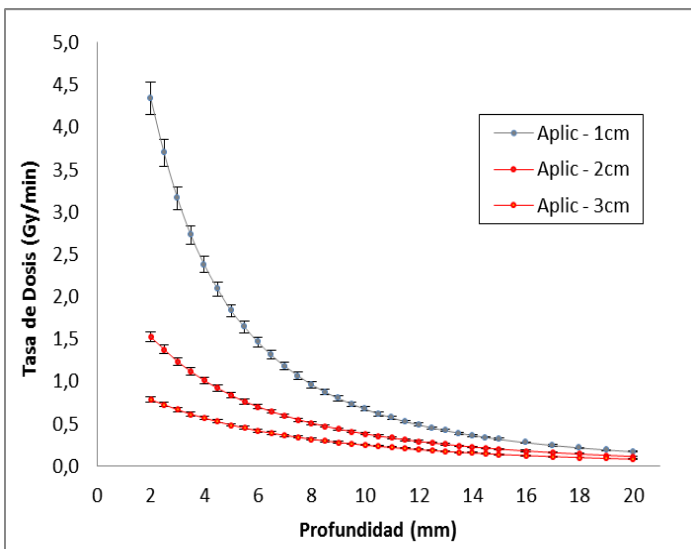
$$f_{a,u}(z) = \left[ a_1 \exp\left(-u_1 \frac{z}{10}\right) + a_2 \exp\left(-u_2 \frac{z}{10}\right) + a_3 \exp\left(-u_3 \frac{z}{10}\right) \right]$$

$$f_{D_0}(z) = D_0 \frac{40}{z^2}$$





# Medida de Tasa de Dosis en el Aplicador



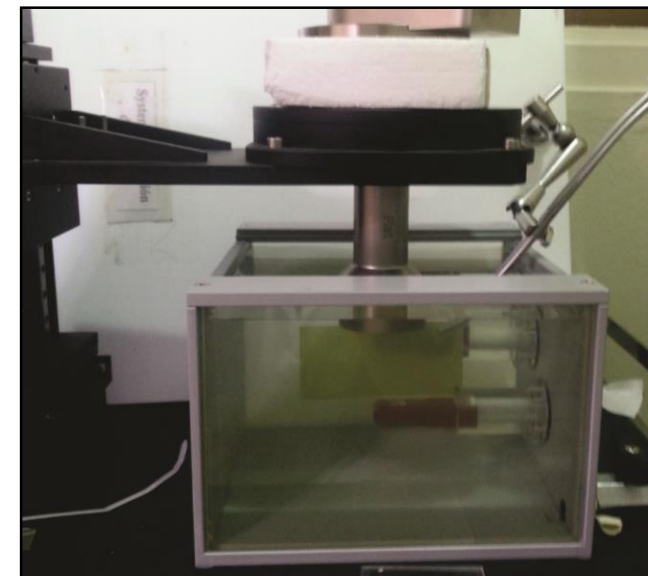
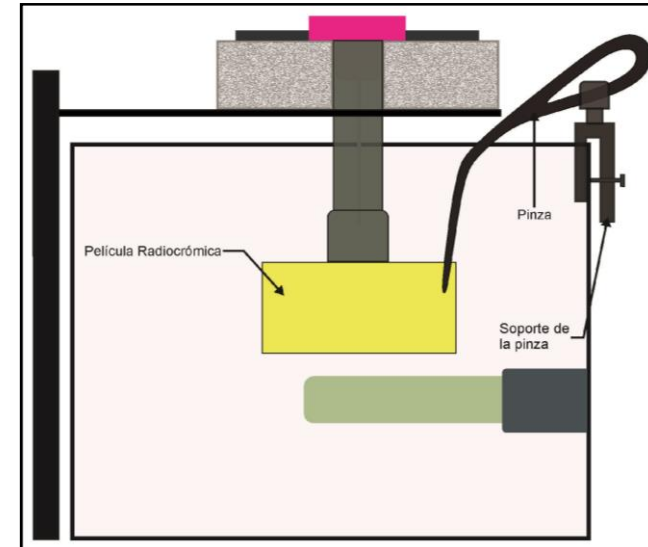
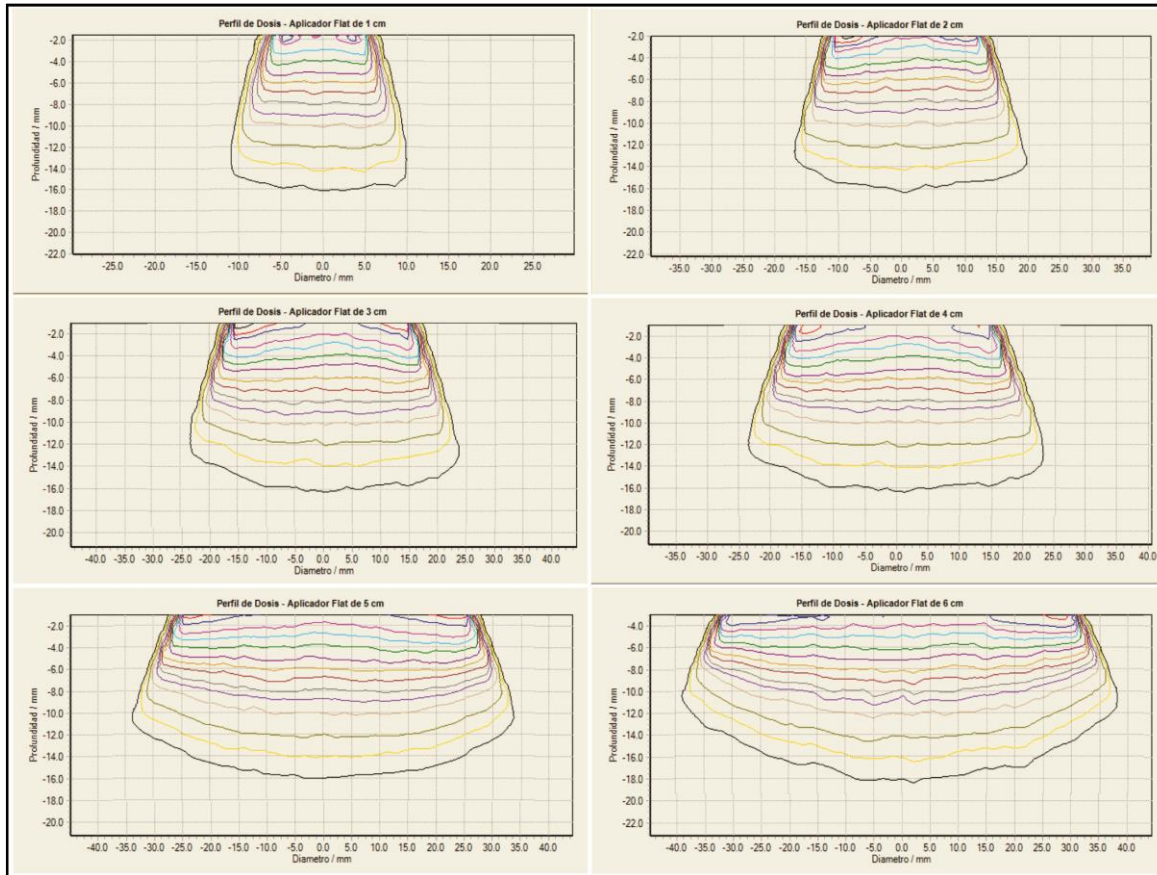
- Medias a 2 mm de la superficie.
  - D=1 cm → 4.34 Gy/min.
  - D=6 cm → 0.30 Gy/min.
- Función de ajuste (racional de 3er grado)

$$\dot{D}_w^{Aplic} \left[ \frac{Gy}{min} \right] = \frac{p_1}{x^3 + q_1 x^2 + q_2 x + q_3}$$

$$f_a = \begin{pmatrix} 4.274 e^6 & 2.376 e^4 & 1.234 e^0.4 & 6.363 e^5 & 4.285 e^5 & 2.747 e^5 \\ 8.374 & 44.85 & 13.39 & -18.28 & -9.645 & -29.93 \\ 455.9 & -13.18 & -631.1 & 248.9 & -157.3 & 380.2 \\ 3.33 e^4 & 4.249 e^4 & 2.663 e^4 & 1.074 e^5 & 1.346 e^4 & 3973 \\ 1.92 e^5 & 1.705 e^5 & 1.573 e^5 & 1.417 e^5 & 9.237 e^4 & 8.941 e^5 \\ 4.622 e^5 & 1.056 e^6 & 1.156 e^6 & 9.674 e^5 & 9.532 e^5 & 7.145 e^5 \end{pmatrix}$$

# Dosimetría en el eje central

- Utilización de Software Film-QA.
- Primeras medidas a 2 mm.
- Utilización de filtro suavizado (mediana)



Diametro de Aplicador: Flat-2cm  
 Profundidad (mm): 4  
 Dosis Prescrita (Gy): 10

Calcular

Cálculos Adicionales

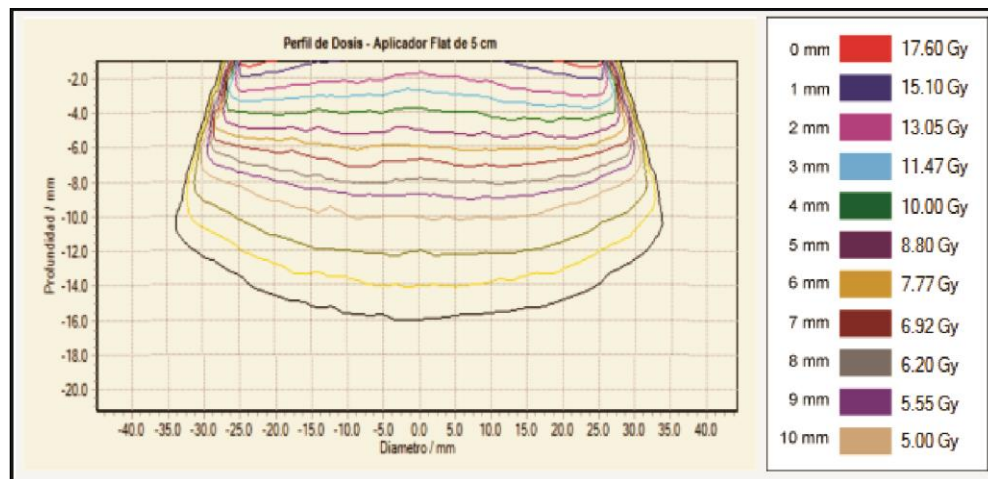
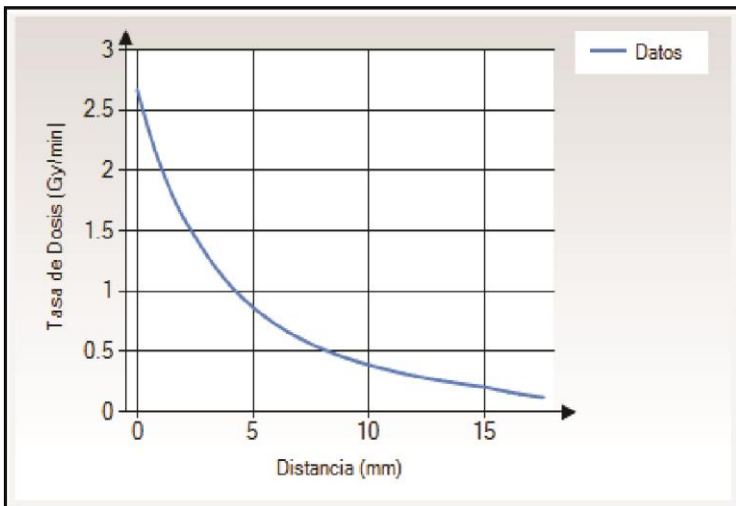
Profundidad (mm): 0.4      Dosis (Gy): 22.74

Datos en el Aplicador

Tasa de Dosis en el Aplicador: **1.050 Gy/min**  
 Tiempo de Tratamiento: **9:31 (mm:ss)**  
 Factor de Transferencia: **1.669**

Datos en el XRS

Tasa de Dosis en el XRS: **0.629 Gy/min**  
 Dosis en el XRS: **5.66 Gy**  
 Distancia desde el XRS: **18.000 mm**





# Creación de Software de Calculo



```
Public Class Form1
    Public linealectura As String
    Public j1 As Integer = 0
    Public fileReader As System.IO.StreamReader
    Public tasasAPLI(6, 36) As Decimal
    Friend diam_aplic As Integer
    Friend tiempo As Decimal

    Private Sub Button1_Click(sender As System.Object, e As System.EventArgs)
        'declaración de variables
        Dim aplicador As String
        Dim profXRS As Decimal

        PictureBox1.Size = New System.Drawing.Size(380, 260)
        PictureBox1.SizeMode = PictureBoxSizeMode.CenterImage
        PictureBox1.BorderStyle = BorderStyle.Fixed3D
        PictureBox1.SizeMode = PictureBoxSizeMode.StretchImage

        'limpiar la gráfica para posteriores elecciones de aplicador'
        Chart1.Series("Datos").Points.Clear()
        'elección del diametro del aplicador'
        If ComboBox1.Text = "Elija una Opción" Then
            MessageBox.Show("Seleccione un diámetro de aplicador")
        Else
            aplicador = ComboBox1.SelectedItem.ToString()
            Select Case (aplicador)
                Case ("Flat-1cm")
                    diam_aplic = 1
                    profXRS = 9.5
                    PictureBox1.Image = Image.FromFile("C:\Users\Eduardo\Desktop\Visual

                Case ("Flat-2cm")
                    diam_aplic = 2
                    profXRS = 14
```

Microsoft®  
Visual Studio®



**IntraCal**

X Ray Source SN = 507422 Fecha de Calibración: 17/08/2015

Diametro de Aplicador: Flat-5cm

Profundidad (mm): 2

Dosis Prescrita (Gy): 12

**Datos en el Aplicador**

Tasa de Dosis en el Aplicador: **0.381 Gy/min**

Tiempo de Tratamiento: **31:30 (mm:ss)**

Factor de Transferencia: **1.601**

**Datos en el XRS**

Tasa de Dosis en el XRS: **0.238 Gy/min**

Dosis en el XRS: **7.38 Gy**

Distancia desde el XRS: **26.300 mm**

**Cálculos Adicionales**

Profundidad (mm): 
 Dosis (Gy):

**Tasa de Dosis (Gy/min)**

**Distancia (mm)**

— Datos

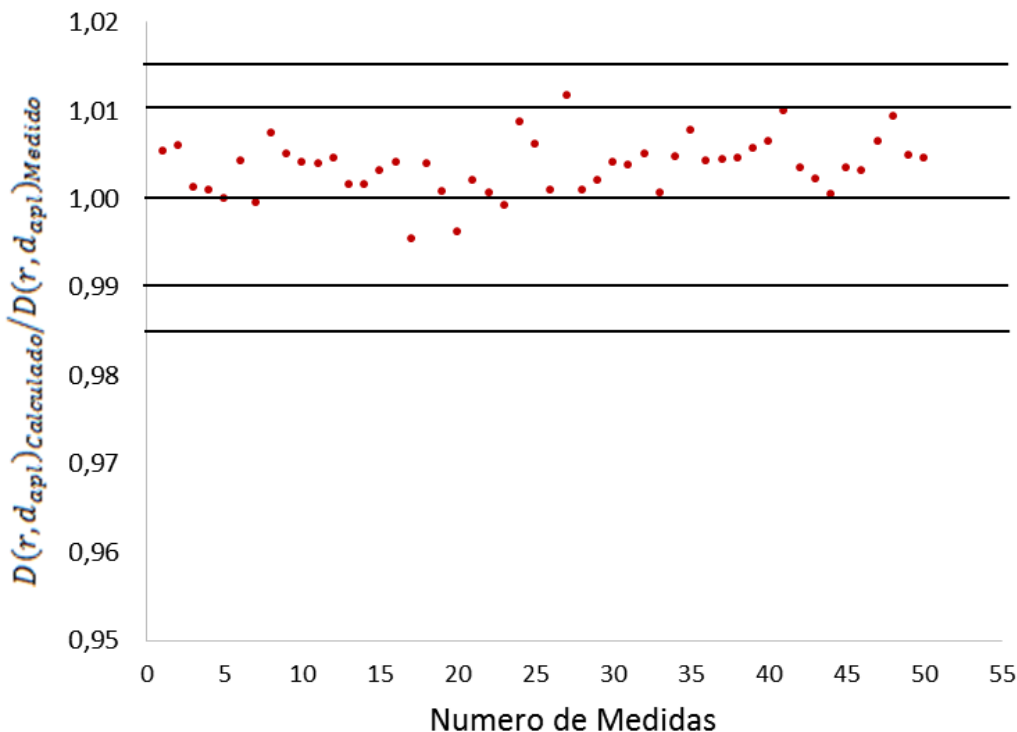
Distancia (mm)	Tasa de Dosis (Gy/min)
0	0.50
5	0.25
10	0.15
15	0.10
20	0.07
25	0.05
30	0.04

**Perfil de Dosis - Aplicador Flat de 5 cm**

**Profundidad / mm**

**Diametro / mm**

Profundidad (mm)	Dosis (Gy)
0	16.19
1	13.89
2	12.00
3	10.55
4	9.20
5	8.09
6	7.15
7	6.36
8	5.70
9	5.10
10	4.60



- Verificación de 50 puntos.
- La máxima desviación es 1.2%
- La media de los valores es 1.0032.
- La desviación estándar es de 0.0032.

## Fuentes de error asociados a la medida

- Error causado por el factor de calibración  $N_k$  de la cámara de ionización:  $\pm 2.0\%$ .
- Error del electrómetro UNIDOS E:  $\pm 0.5\%$ .
- Error causados por las tolerancias de diseño de la cámara de ionización: Tipo 34013:  $\pm 2.0\%$ .
- Error causado por la diferencia en la calidad del haz del generador de rayos X y el XRS durante la calibración de la cámara de ionización:  $\pm 0.6\%$ .
- Error en el factor de conversión de la cámara de ionización  $k_{a \rightarrow w} = P_{Q, cham}$ :  $\pm 1.5$ .
- Error causado por el soporte impermeable de la cámara de ionización:  $\pm 0.5\%$ .
- Error general causado por mediciones en agua:  $\pm 2.0\%$  (según AAPM).
- Error causado por la variación del espectro energético a otras profundidades en agua:  $\pm 3.0\%$ .
- Error asociado a la medida de la temperatura:  $\pm 0.9\%$  (0.2 °C en una medida aproximada de 23.0 °C).
- Error asociado a la medida de la presión atmosférica:  $\pm 0.02\%$  (0.15 hPa en una medida aproximada de 988 hPa).



# Conclusiones



- La gráfica de tasa de dosis en profundidad con el XRS, tiene un comportamiento complejo, con altos gradientes de dosis en los primeros puntos de medida que requiere de una función de ajuste con una mínima dispersión de valores. Por tal motivo se utilizó ley de absorción de Lambert – Beer para ajustar la gráfica en mención.
- Se recomienda utilizar el método de máxima dosis para el posicionamiento del XRS sobre el punto efectivo de la cámara de ionización, ya que este parámetro representa uno de los factores más importantes que influyen en la exactitud de la medida.
- Se concluye que la dosimetría de películas radiocrómicas para baja energía, no debería realizarse en un fantoma de agua, debido a problemas de posicionamiento, los que generan una alta incertidumbre en la dosis medida. Por ello, se recomienda el uso de fantomas de agua sólida equivalente en agua, en especial el RMI475, el cual genera incertidumbres por debajo del 2% según Seuntjens et al. y de 2.3% según Robin H. et al.
- Para realizar la calibración de las películas radiocrómicas con los aplicadores planos del intrabeam es necesario ubicar una zona donde la uniformidad en la dosis absorbida sea la mejor posible. Para ello se recomienda utilizar el estudio realizado por Schneider F. et. al. 39 para ubicar la profundidad de máxima uniformidad para cada aplicador.



*Muchas  
Gracias!*