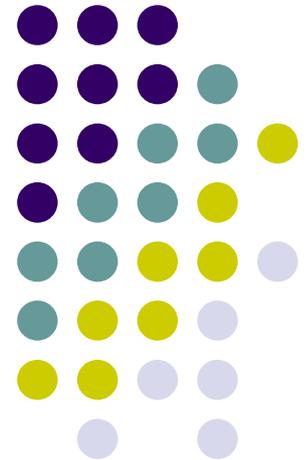


Puesta en Servicio de la IMRT.

Introducción al problema de la dosimetría de haces pequeños

Dr. Eduardo Francisco Larrinaga Cortina





Contenido

- Puesta en Servicio Clínico
- Consideraciones especiales para la IMRT
- Dosimetría de haces pequeños.
- Selección y uso de detectores apropiados.
- Factores de corrección.



Créditos

https://www.youtube.com/watch?v=cSKhST4B_c

I

Intensity Modulated Radiation Therapy: Dosimetric Aspects & Commissioning Strategies

ICTP School on Medical Physics for Radiation Therapy

Justus Adamson PhD

Assistant Professor

Department of Radiation Oncology

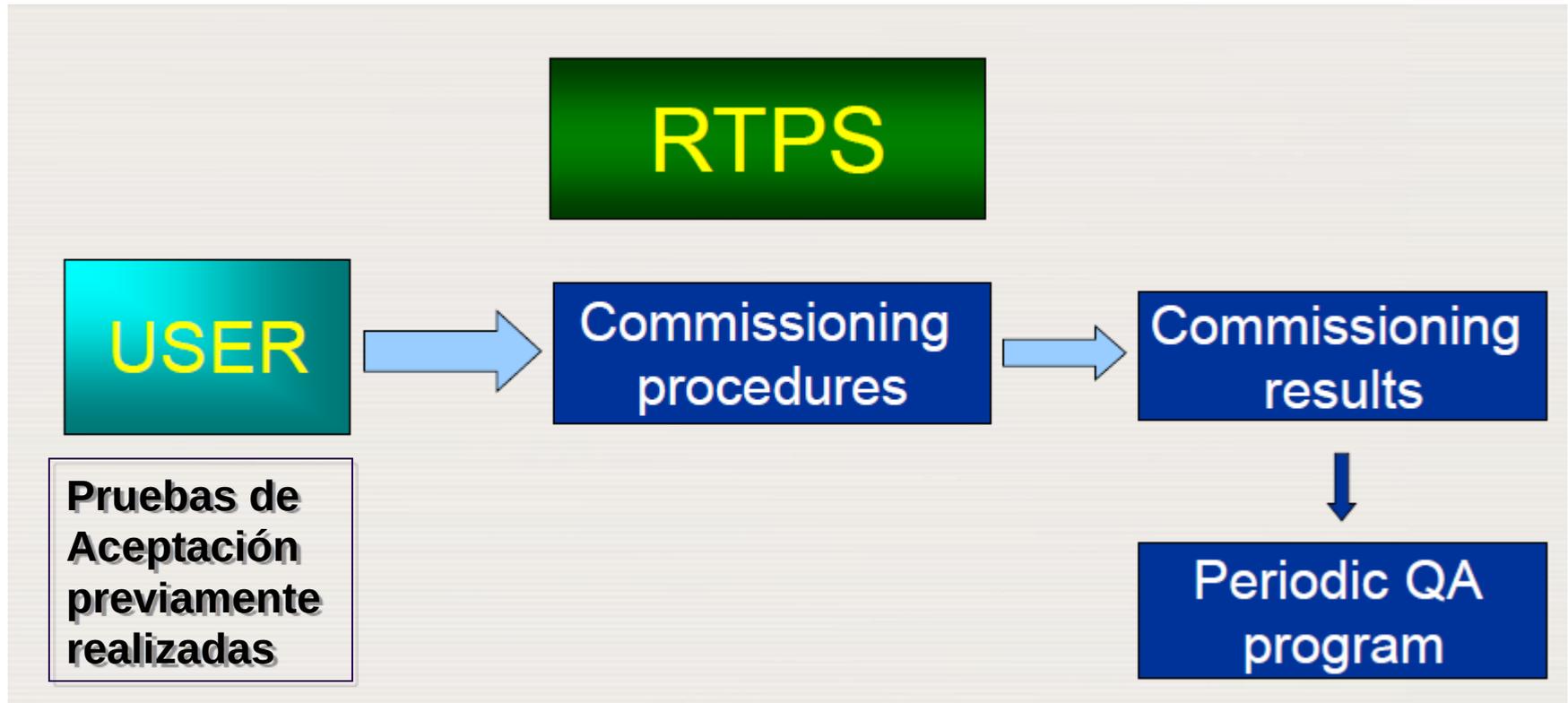
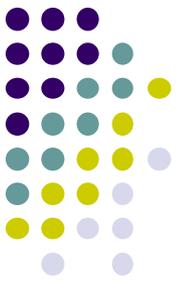
Duke University Medical Center

Puesta en servicio clínico IMRT



- Unidad de tratamiento
 - Pruebas mecánicas
 - Pruebas dosimétricas
 - Pruebas específicas de IMRT
 - Sistema de Planeación de Tratamiento (TPS)
 - Pruebas 3DCRT
 - Pruebas IMRT
- Verificación dosimétrica por plan.
 - Verificación independiente redundante/Acreditación
 - Control de calidad paciente-específico.

COMMISSIONING AND QUALITY ASSURANCE



COMMISSIONING

(Puesta en servicio clínico)



- Prepare the system for clinical use
- Provide experience/training
- Appropriate measured data
 - PDD, TAR, TPR, beam profiles, wedge profiles, attenuation data, output factors, etc
- Perform series de commissioning test
- Test algorithms
 - Provide capabilities & limitations
- Asses results to see if complies with specifications
- Provide documentation of system performance
- Result of commissioning test used later for QC test

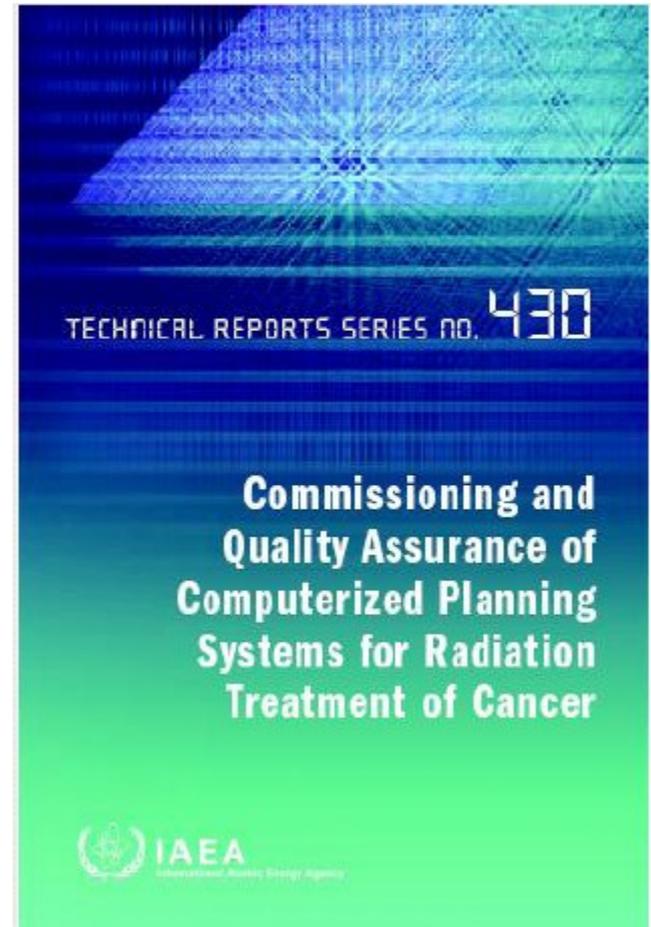
COMMISSIONING AND QUALITY ASSURANCE



IAEA TRS 430 - complete reference work in the field of QA of RTPS

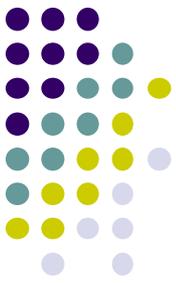
Provides a general framework on
how to design a QA programme
for all kinds of RTPS

Describes a large number of tests
and procedures that should be
considered and should in
principle fulfil the needs for all
RTPS users.



Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, IMRT con MLC



- MLC exactitud del posicionamiento
 - Pruebas de bandas y Picket garden fence
- Desempeño del acelerador lineal para pocas UM
- MLC aspectos del control y fidelidad de la transferencias de datos
- MLC características físicas y dosimétricas
 - Dosimetric Leaf Gap (DLG)
 - Fuga entre e intra-láminas
 - Efecto de machihembrado (unión tongue-and-groove)
- Aspectos adicionales específicos a la modalidad de IMRT con ventana deslizante
 - Posición de la lámina y exactitud de la velocidad
 - Distancia mínima de la lámina (evitar colisiones)

Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, MLC exactitud del posicionamiento



- MLC 3DCRT, define el borde del campo
 - 1, 2 mm de inexactitud no inciden en la dosimetría y/o el resultado clínico del tratamiento
- MLC IMRT
 - Consiste en múltiples “segmentos” pequeños
 - Borde de las láminas se mueve a muchas posiciones dentro del área a tratar
 - La exactitud del posicionamiento de las láminas para IMRT es crítica

Láminas de bordes redondeados: desplazamiento 0.4-1.1 mm entre el borde del campo luminoso y el borde del campo de radiación

Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, MLC exactitud del posicionamiento



- Procedimientos propuestos
 - Medir desplazamiento entre el campo de luz y el campo de radiación en función de la distancia al eje central
 - Prueba de bandas adjuntas (abutting strips) en todo el campo de radiación
 - Bordes coinciden en las isodosis del 50%
- Repetir a diferentes ángulos del brazo para detectar efectos gravitacionales en el MLC
- Comprobar para diferentes desplazamientos del carro del MLC, si los hubiese



Abutting MLC Dose Uniformity Test

expected detectability = 0.2mm
 $\pm 5\%$ dose accuracy in the matchline

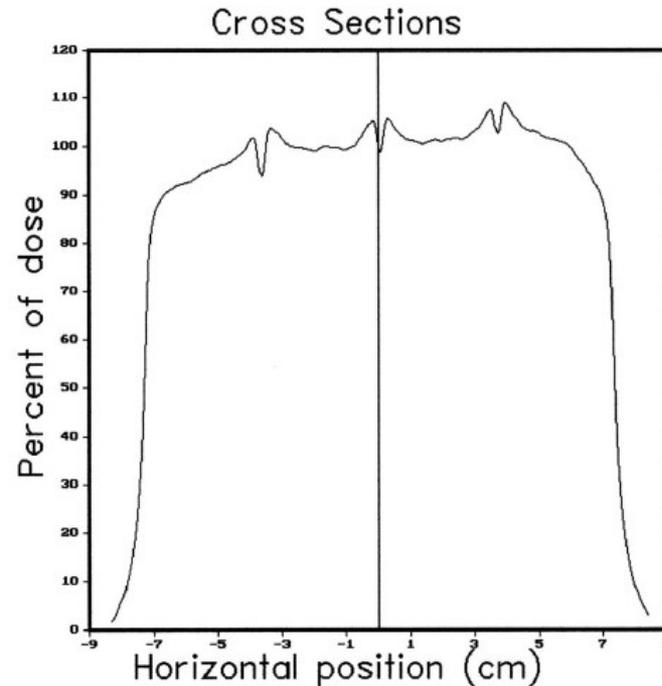
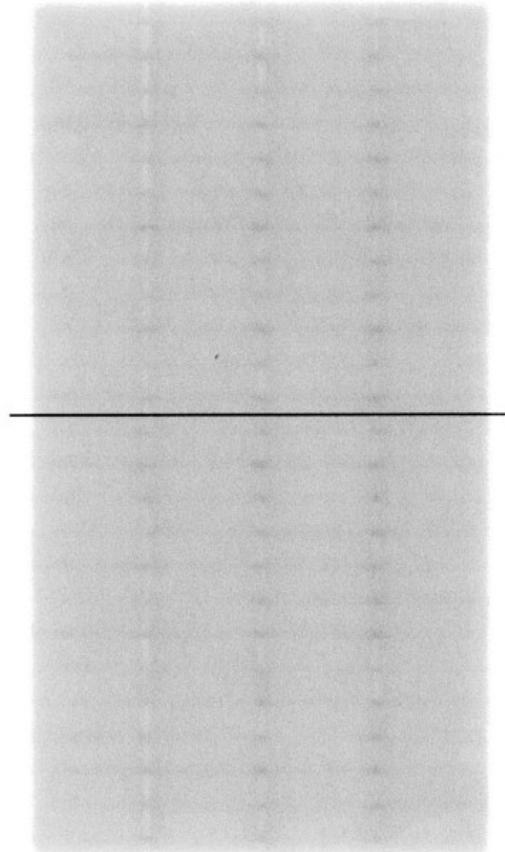
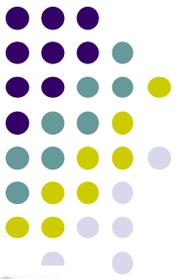


FIG. II.1. (a) MLC test pattern with a 2 cm wide strip. (b) QA film produced by moving the pattern in 2 cm intervals and irradiating in a step-and-shoot fashion. The strips should abut at the 50% decrement lines as described in Sec. II A 1. The line on the film shows the location of the scan (c), which is used to assess the quality of the matching. This MLC has a rounded leaf end design.

Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, MLC exactitud del posicionamiento



- **Procedimientos propuestos**
 - Picket fence garden (verja del jardín)
 - Secuencia de bandas separadas a intervalos regulares por un espacio de 1 mm
 - Crean un patrón de líneas que es fácil de inspeccionar a simple vista, cualquier desviación presume una incertidumbre del posicionamiento submilimétrica
 - Puede ser cuantificada con procesamiento de imágenes apropiado
- **Repetir a diferentes ángulos del brazo y del colimador para detectar efectos gravitacionales en el MLC**

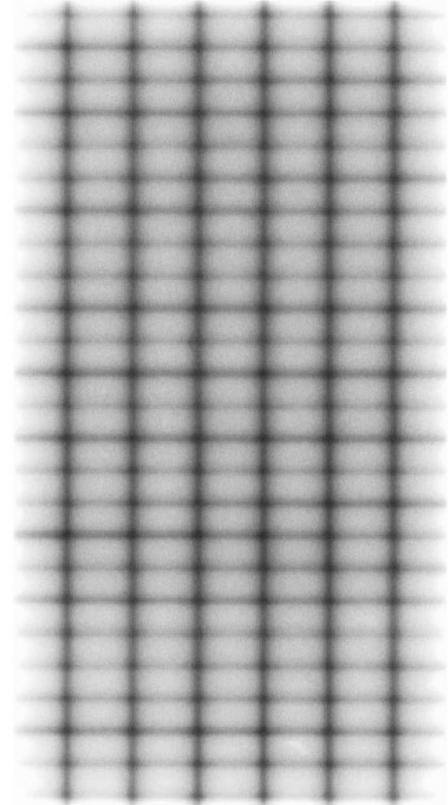
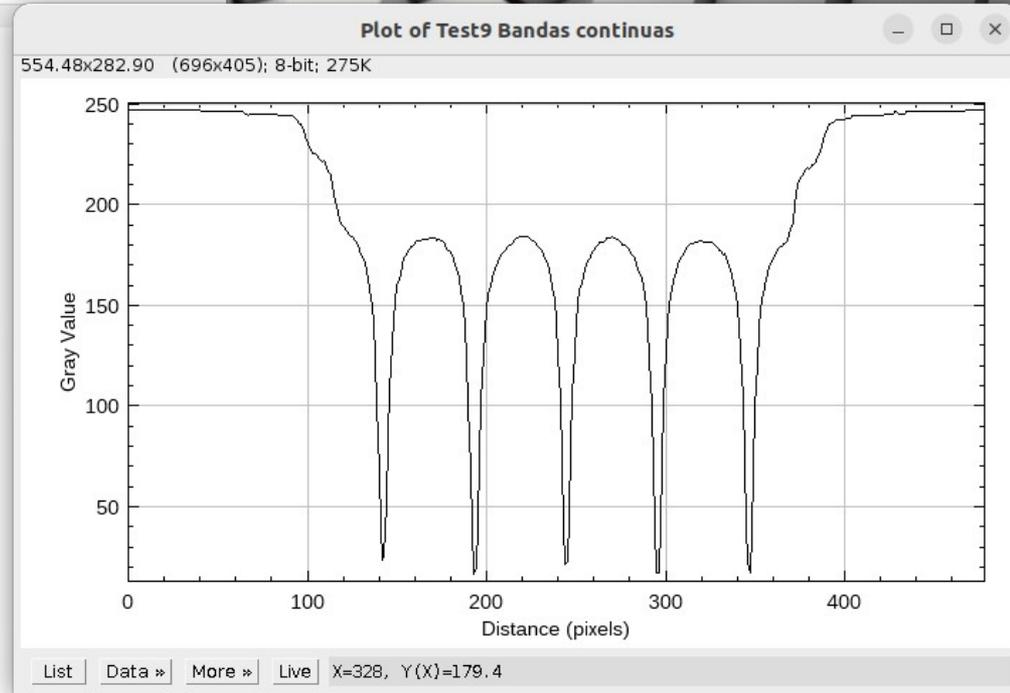
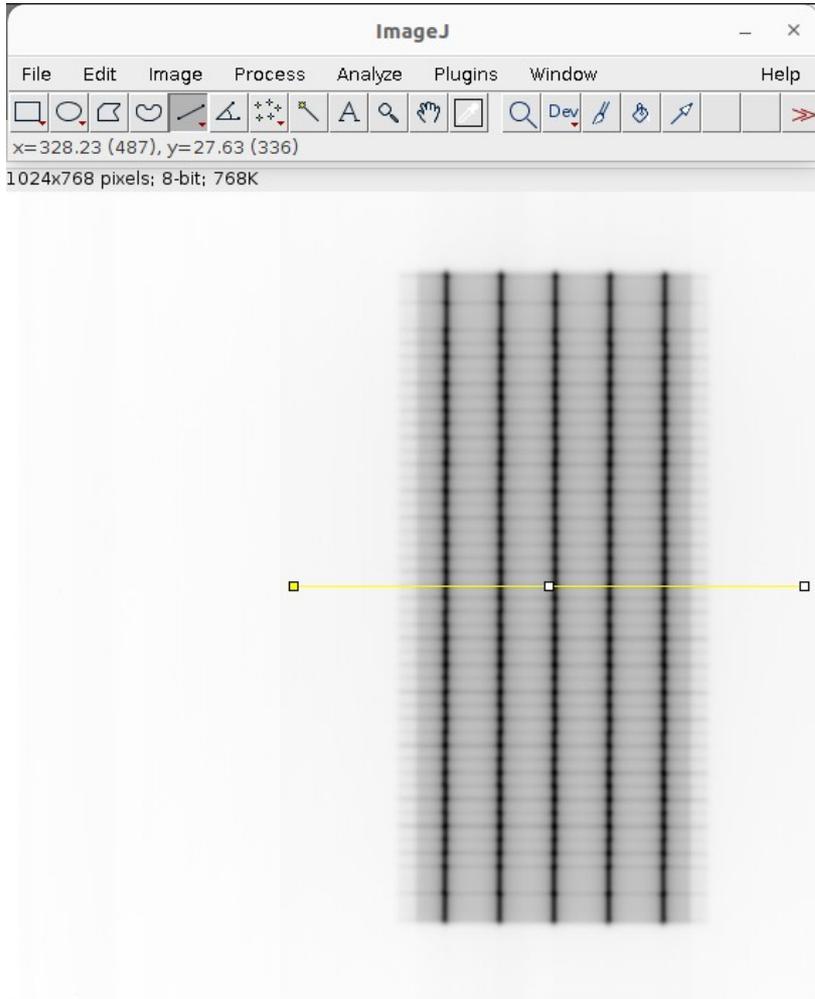


FIG. II.2. (a) MLC test pattern with a 1 mm wide strip. (b) QA film produced by moving the pattern in 2 cm intervals and irradiating in a step-and-shoot fashion. This MLC has a rounded leaf end design.

Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, MLC exactitud del posicionamiento



MLC Position Accuracy: Picket Fence Test

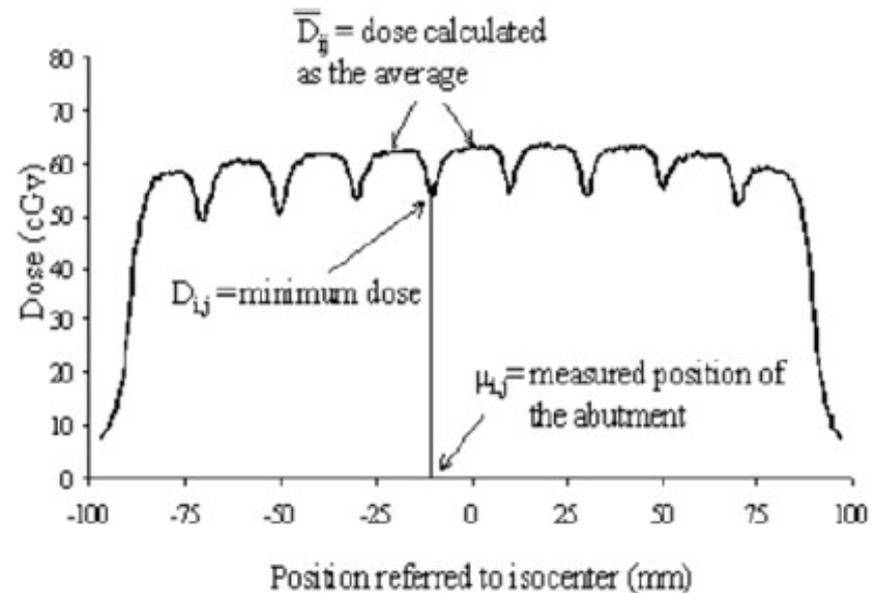
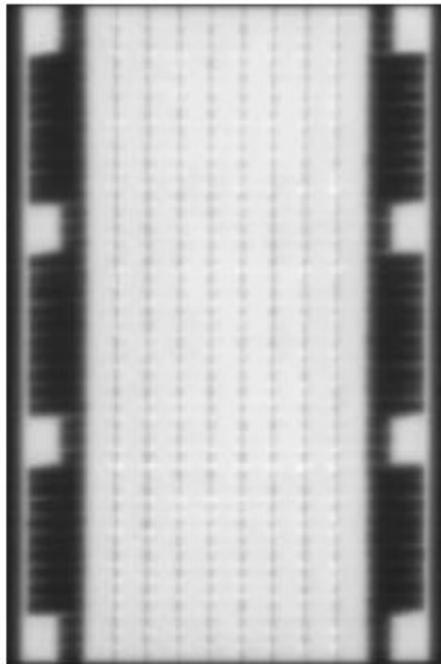


Figure 4.1 A strip-test design for MLC calibration purposes showing nine adjacent segments 2 cm wide with 1 mm gap, and two extra segments with 4 squares at the left and right side to determine the isocentre, measured with film. Dose profiles are taken for each leaf-pair. The right figure shows the profile of a central leaf. The dose variations of the abutments are used to determine the relative leaf positions, and the measured position of the abutments to determine the absolute leaf position (from

Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, MLC aspectos del control

- Para cada equipamiento se necesita determinar
 - Como se calibra el MLC
 - Como es la indexación de la posición del MLC con las UM
 - Como se mide la posición del MLC
 - Tolerancia aplicada al MLC
 - Enclavamientos del MLC
 - Registros de verificación y del funcionamiento del MLC
 - Como responder si se descalibra
 - Recuperaciones de interrupciones del tratamiento
- IMRT soluciones de los fabricantes
 - Siemens, IMRT segmentada. Extensión de tratamientos 3DCRT, cada segmento es un campo independiente
 - ELEKTA, Varian utilizan sistemas dedicados para el controlador del MLC

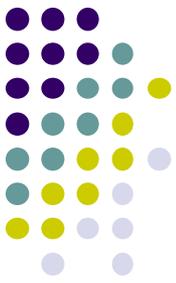


Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, MLC fidelidad de la transferencias de datos

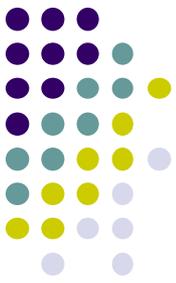
- Verificación visual de la transferencia correcta de los datos del plan entre el TPS y el acelerador lineal utilizando planes representativos
 - Es claro para configuraciones básicas y posiciones iniciales del MLC (comprobación del BEV)
- MLC múltiples segmentos o dinámico no es obvio de verificar
 - Medidas dosimétricas son un buen sustituto
 - Verificación de los ficheros de registro de la administración del tratamiento (logs files)

Después de la puesta en servicio se debe implementar una política de calidad para cada plan de tratamiento (control de calidad paciente-específico)



Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, MLC características físicas y dosimétricas



- MLC fuga
 - La transmisión de las láminas es más crítica para la IMRT que la 3DCRT, porque el MLC barre el área de tratamiento durante una gran parte de la administración de las UM
- MLC penumbra
 - De ser necesaria debe ser medida con un detector de alta resolución (diodo, film)
 - Un haz modelado con mediciones basadas en una cámara de ionización de diámetro interno >0.3 cm puede producir planes de IMRT inexactos

Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, MLC características físicas y dosimétricas



- Tipos de fugas
 - Intra-lámina, fugas a través del cuerpo de la lámina
 - Inter-lámina, fugas entre dos láminas adyacentes
- A menudo el sistema de planeación de tratamientos utiliza un valor promedio de estas dos fugas, así que para medirlas se utiliza un detector lo suficientemente grande para promediar estos valores

Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, MLC características físicas y dosimétricas



MLC penumbra. La posición de la lámina se puede calibrar en:

- Posición real
- 50% del perfil de dosis
 - Requiere distancia mínima de las láminas, para evitar colisiones entre láminas en la misma posición y bancos opuestos.
 - Calibración puede ser realizada en agua
- Mejor posición de la prueba de bandas adyacentes
 - Provee una distribución de dosis óptima para segmentos adyacentes
 - Ligera diferencia en el 50% del perfil de dosis
 - Calibración puede realizarse de la prueba de bandas adyacentes

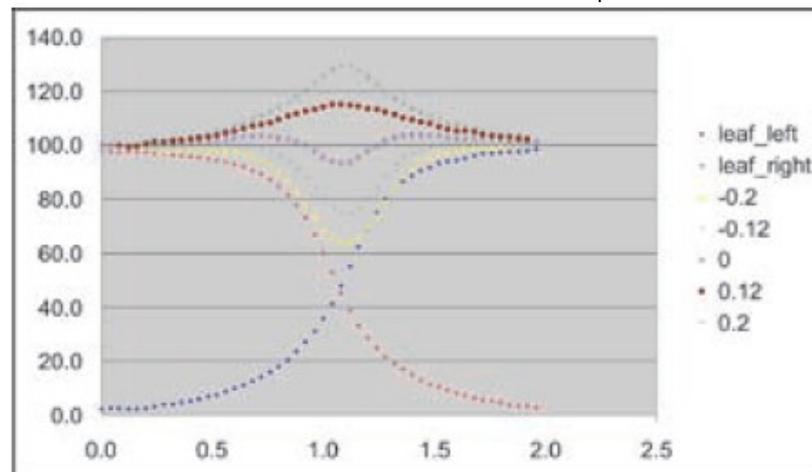
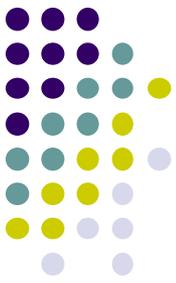


Figure 4.3 Dose profiles of leaves with rounded leaf ends with different gaps between opposing leaf positions. The calibration of the leaf position is at the 50% dose point. Dimensions are in cm.

La definición de posición de lámina del acelerador lineal y la del TPS deben ser las mismas

Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, MLC características físicas y dosimétricas



DLG/DLS

- Es un desplazamiento sistemático introducido en el TPS para modelar mejor la posición de la lámina

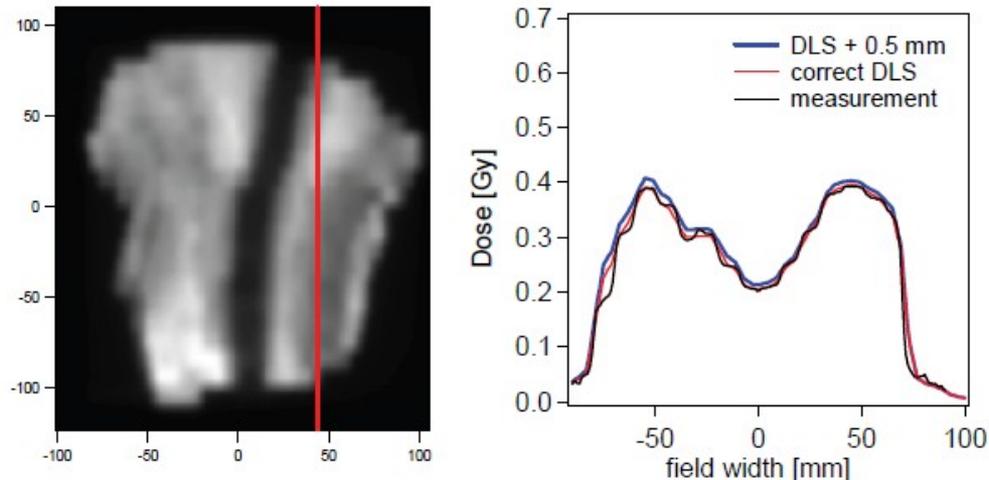


Figure 4.5 Film measurement of an IMRT field delivered using the sliding window technique of a head-and-neck treatment plan transferred to a phantom. The measured and calculated dose distributions along the red line have been compared. The correct value of the DLS parameter for this set-up was 2.6 mm. With this value the calculated and measured data agreed very well and are all within gamma criteria of 3% local dose difference and 2 mm DTA. The calculations were repeated by using a larger DLS of 3.1 mm. As a result 9 % of the area inside the 0.14 Gy isodose area had a gamma value larger than 1.

Physical and dosimetric aspects of a multileaf collimation system used in the dynamic mode for implementing intensity modulated radiotherapy. LoSasso et al, MP, 1998

Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, MLC características físicas y dosimétricas

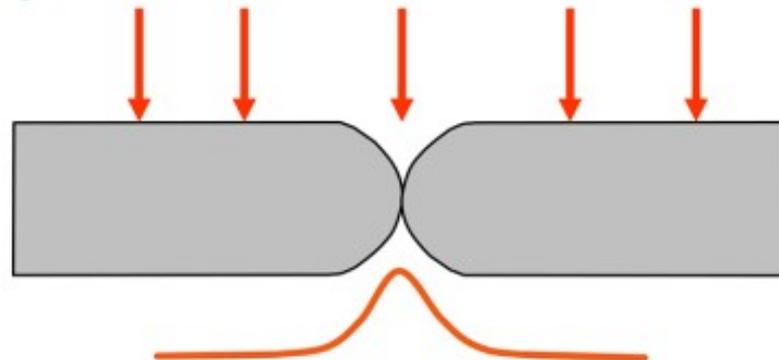


DLG/DLS



Dosimetric Leaf Gap

- Accounts for extra transmission through the rounded leaf edge
 - Modeled as an apparent gap between two closed straight edge leaves



Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, MLC características físicas y dosimétricas



DLG/DLS

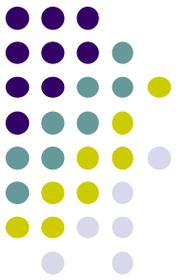
The screenshot shows the DosimetricLeaf_Gap software interface. The main window displays a beam's eye view (BEV) of a treatment plan. The left sidebar shows a tree view of the plan, including fields like TransmA, TransmB, and various MLC settings. The bottom panel contains a detailed table of field parameters.

Group	Field ID	Technique	Machine/Energy	MLC	Field Weight	Scale	Gantry Rtn [deg]	Coll Rtn [deg]	Couch Rtn [deg]	Wedge	Field X [cm]	X1 [cm]	X2 [cm]	Field Y [cm]	Y1 [cm]	Y2 [cm]	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]	SSD [cm]	MU	Ref. D [Gy]
<input type="checkbox"/>	Open	STATIC-I	21DHRH - 15X	Static	1.000	Varian IEC	0.0	0.0	0.0	None	10.0	+5.0	+5.0	10.0	+5.0	+5.0					100	
<input type="checkbox"/>	TransmA	STATIC-I	21DHRH - 15X	Static	1.000	Varian IEC	0.0	0.0	0.0	None	10.0	+5.0	+5.0	10.0	+5.0	+5.0					100	
<input type="checkbox"/>	TransmB	STATIC-I	21DHRH - 15X	Static	1.000	Varian IEC	0.0	0.0	0.0	None	10.0	+5.0	+5.0	10.0	+5.0	+5.0					100	
<input type="checkbox"/>	2mm	STATIC-I	21DHRH - 15X	Dose Dynamic	1.000	Varian IEC	0.0	0.0	0.0	None	10.0	+5.0	+5.0	10.0	+5.0	+5.0					100	
<input type="checkbox"/>	4mm	STATIC-I	21DHRH - 15X	Dose Dynamic	1.000	Varian IEC	0.0	0.0	0.0	None	10.0	+5.0	+5.0	10.0	+5.0	+5.0					100	
<input type="checkbox"/>	6mm	STATIC-I	21DHRH - 15X	Dose Dynamic	1.000	Varian IEC	0.0	0.0	0.0	None	10.0	+5.0	+5.0	10.0	+5.0	+5.0					100	

Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, MLC características físicas y dosimétricas

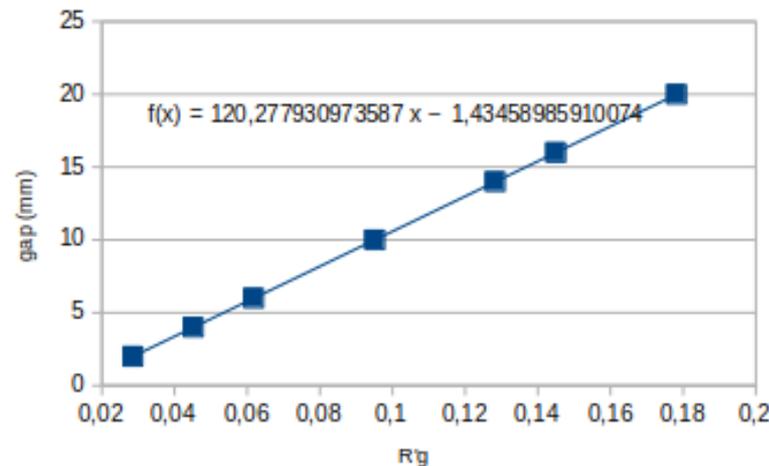
DLG/DLS



Medición Dosimetric Leaf Gap (DLG)		Energía 6 MV, DLG						
Maniquí	PTW MP3							
CI	TN31010							
Electrometro	Tansoft	Transm.A	Transm.B					
DFS(cm)	90	0,1877	0,1878					
Prof(cm)	10	0,0160	0,0160					
Rt (trans MLC)	0,0160							
R_open (trans MLC)	11,76							
gap (mm)	Rg (nC)	Prom	Std	error	Rgt	R'g		
2	0,5201	0,5203	0,0442	0,0001	0,32%	0,0157	0,0285	
4	0,7126	0,7128	0,0606	0,0001	0,23%	0,0154	0,0452	
6	0,9055	0,905	0,0770	0,0004	0,46%	0,0152	0,0618	
10	1,29	1,292	0,1098	0,0014	1,29%	0,0146	0,0951	
14	1,674	1,675	0,1424	0,0007	0,50%	0,0141	0,1283	
16	1,868	1,867	0,1588	0,0007	0,45%	0,0138	0,1450	
20	2,252	2,252	0,1915	0,0000	0,00%	0,0133	0,1782	

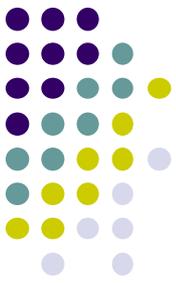
$$R_{gT} = R_T \cdot \left(1 - \frac{g[\text{mm}]}{120[\text{mm}]} \right)$$

$$R_g' = R_g - R_{gT}$$



Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, MLC características físicas y dosimétricas



IMRT DMLC

- **Prueba desarrollada por LoSasso et al. Diferentes propuestas y actualizaciones en la literatura**
- **Prueba incluye:**
 - **Prueba de velocidad del MLC, patrón de intensidad escalonado con todos los pares de láminas moviéndose a diferentes velocidades**
 - **Lectura de C.I. para una ventana deslizante de 1 cm de ancho con UM variable**
 - **Velocidad del MLC varía dada diferentes UM administradas para la misma secuencia de MLC**
 - **Lecturas de la C.I. deben ser directamente proporcionales a las UM**
 - **C.I. comprueba las láminas centrales del MLC, EPID/películas podrían utilizarse para comprobar varias láminas a la vez**

Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, Linealidad de UM



- IMRT múltiples segmentos estáticos (Steep&Shoot), consiste de múltiples pequeños campos (segmentos) generalmente de pocas UM. Esto requiere especial cuidado en la linealidad de la administración de la dosis para estas UM pequeñas
- Puede ser necesarias restricciones en la administración de pequeñas UM, si falla la linealidad en esos valores

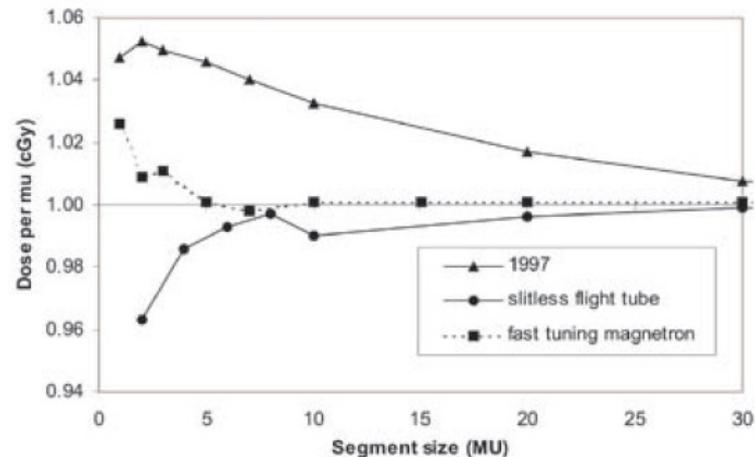
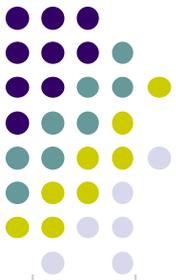


Figure 4.6 Beam calibration for a limited number of monitor units depending on the type of magnetron and steering technique for Elekta accelerators. In 1997 the feedback technique with slits was used. An improvement of this technique was the slitless flight tube, which was followed by a new design magnetron with faster tuning (Courtesy Geoff Budgell, Christie Hospital, Manchester, UK).

Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, Linealidad de UM



26 de ago de 17

LINEALIDAD DE MONITOR, 6MV

Condiciones de medición:

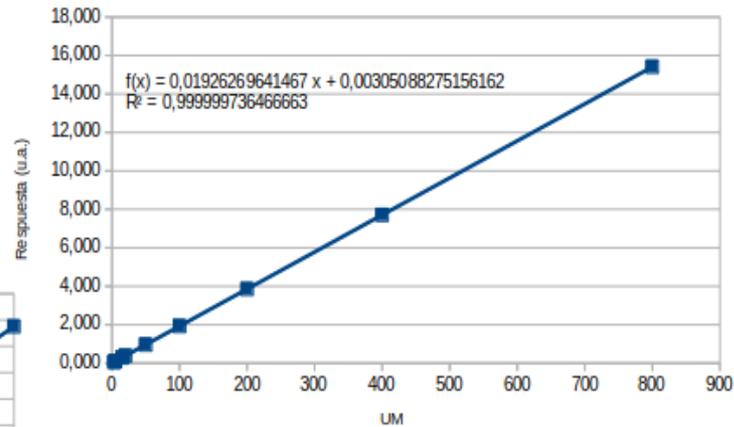
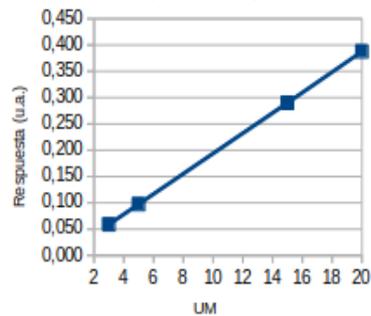
Campo 5 X 5 cm,

Sistema: Tansoft+ Cj TN31010 NS5796.

medido con buildup Co60

TASA: 600 MU/min

MU	Lecturas (nC)			Lave
	campo	campo	campo	
3	0,0589	0,0589	0,0589	0,059
5	0,0971	0,0977	0,0972	0,097
15	0,29	0,2899	0,29	0,290
20	0,3876	0,3878	0,3876	0,388
50	0,9673	0,9665	0,9664	0,967
100	1,931	1,931	1,931	1,931
200	3,859	3,859	3,858	3,859
400	7,714	7,713	7,711	7,713
800	15,42	15,41	15,4	15,410





IMRT Commissioning: General issues for IMRT using physical attenuators

- TPS:
 - beam hardening
 - scatter from attenuator
- Delivery system:
 - Choice of attenuation material
 - Machining accuracy
 - Placement accuracy

Relevant References:

- ²²W. U. Laub, A. Bakai, and F. Nusslin, “Intensity modulated irradiation of a thorax phantom: Comparisons between measurements, Monte Carlo calculations and pencil beam calculations,” *Phys. Med. Biol.* **46**, 1695–1706 (2001).
- ²³J. Meyer, J. A. Mills, O. C. Haas, E. M. Parvin, and K. J. Burnham, “Some limitations in the practical delivery of intensity modulated radiation therapy,” *Br. J. Radiol.* **73**, 854–863 (2000).
- ²⁴H. Thompson, M. D. Evans, and B. G. Fallone, “Accuracy of numerically produced compensators,” *Med. Dosim.* **24**, 49–52 (1999).
- ²⁵S. B. Jiang and K. M. Ayyangar, “On compensator design for photon beam intensity-modulated conformal therapy,” *Med. Phys.* **25**, 668–675 (1998).

Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, Tolerancias



TABLE II. Monthly.

Procedure	Machine-type tolerance		
	Non-IMRT	IMRT	SRS/SBRT
Dosimetry			
X-ray output constancy			
Electron output constancy		2%	
Backup monitor chamber constancy			
Typical dose rate ^a output constancy	NA	2% (@ IMRT dose rate)	2% (@ stereo dose rate, MU)
Photon beam profile constancy		1%	
Electron beam profile constancy		1%	
Electron beam energy constancy		2%/2 mm	
Mechanical			
Light/radiation field coincidence ^b		2 mm or 1% on a side	
Light/radiation field coincidence ^b (asymmetric)		1 mm or 1% on a side	
Distance check device for lasers compared with front pointer		1 mm	
Gantry/collimator angle indicators (@ cardinal angles) (digital only)		1.0°	
Accessory trays (i.e., port film graticule tray)		2 mm	
Jaw position indicators (symmetric) ^c		2 mm	
Jaw position indicators (asymmetric) ^d		1 mm	
Cross-hair centering (walkout)		1 mm	
Treatment couch position indicators ^e	2 mm/1°	2 mm/1°	1 mm/0.5°
Wedge placement accuracy		2 mm	
Compensator placement accuracy ^f		1 mm	
Latching of wedges, blocking tray ^g		Functional	
Localizing lasers	±2 mm	±1 mm	< ±1 mm
Safety			
Laser guard-interlock test		Functional	
Respiratory gating			
Beam output constancy		2%	
Phase, amplitude beam control		Functional	
In-room respiratory monitoring system		Functional	
Gating interlock		Functional	

Puesta en servicio clínico IMRT

Unidad de tratamiento, Tolerancias

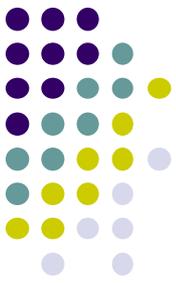


TABLE 2 Dosimetry Tests.

Item	Test	Frequency	Tolerance
D1	Photon and electron output constancy	Daily ^a	3% of baseline
		Monthly	2% of baseline
		Annual	1% of TG51
D2	Photon and electron beam profile constancy	Daily ^a	2%
		Monthly	2%
		Annual	2% of TPS OAFs ^b
D3	Electron beam energy	Monthly	2 mm
		Annual	2 mm
D4	Photon beam energy	Monthly	1% of PDD/TPR (relative change in value)
		Annual	1% of PDD/TPR at reference depth
D5	Dynamic delivery control	Monthly	3% of open field dose
D6	Photon MU linearity (output constancy)	Annual	2% >10 MU for open field; 2% for segmented field
D7	Electron MU linearity (output constancy)	Annual	2% for clinical range
D8	Photon output vs dose rate	Annual	2%
D9	Photon and electron output vs gantry angle	Annual	2% of IEC gantry 0° output
D10	Photon and electron OAF vs gantry angle	Annual	2% of OAFs at IEC gantry 0°
D11	Arc mode (expected MU, degree)	Annual	2% of MU and 2°
D12	Special procedure mode (TBI/TSET)	Annual	Output: same as regular beam; energy: same as regular beam; profile: same as regular beam

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Aspectos específicos para IMRT



- IMRT es un caso específico de 3DCRT
 - Iguales requisitos para la puesta en servicio que 3DCRT, incluyendo pruebas específicas para IMRT
- IMRT, aspectos específicos:
 - Optimización inversa
 - El proceso de optimización demanda una exactitud más estricta de la determinación del volumen, el modelado del haz y los Histogramas Dosis Volumen (DVH), incluyendo el efecto de la malla de cálculo en estos
 - Secuenciador de láminas
 - Algoritmo secuenciador de láminas es puesto en servicio junto con el proceso de planeación
 - Se necesita verificar en caso de actualizaciones o cambios
 - Cálculo de dosis

Puesta en servicio clínico IMRT

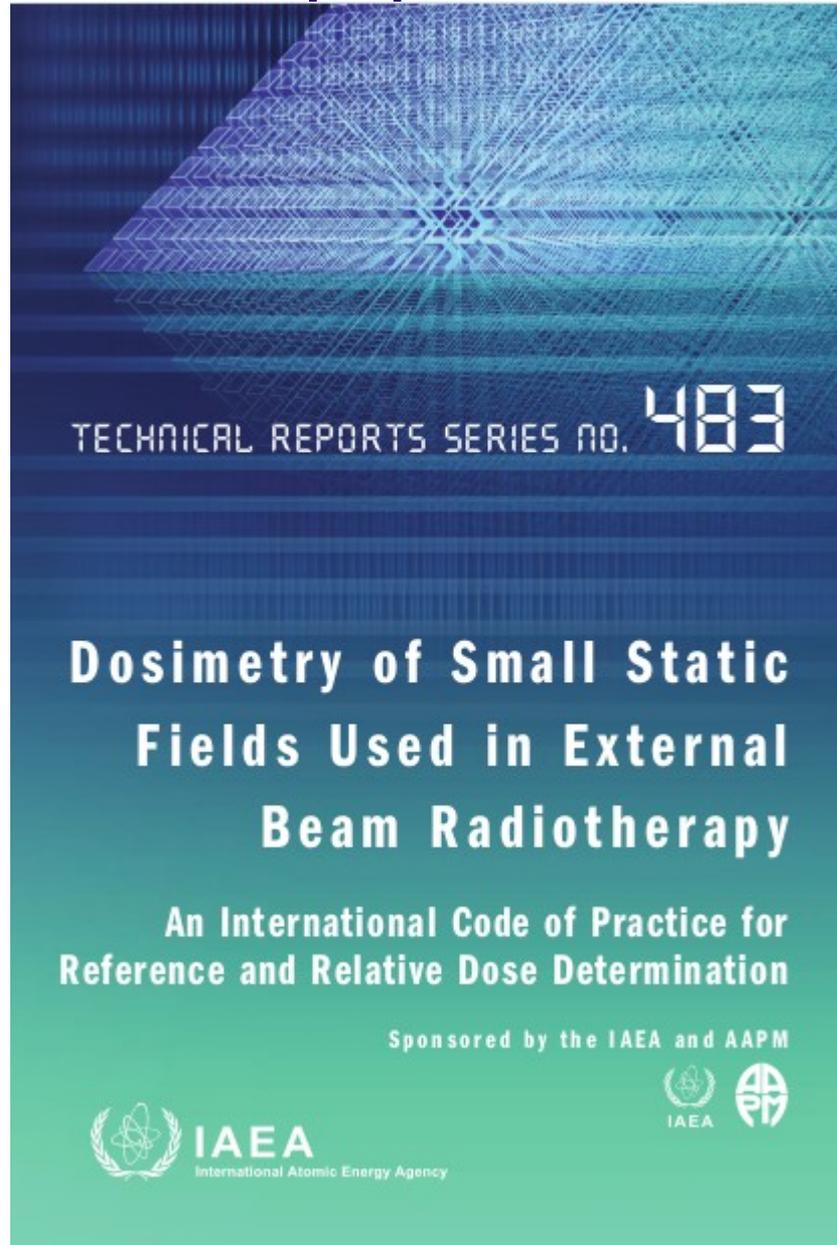
TPS, Consideraciones al cálculo de dosis



- Definición de las posiciones de las láminas en el TPS
- Perfil de dosis de pequeños segmentos y campos adjuntos (MSS/Step&Shoot)
- Perfil de dosis de pequeños campos (Ventana deslizante)
- Efecto de machihembrado (tonge&groove)
- Transmisión de las láminas
- Dosimetría de haces pequeños
 - Factores de campos
 - Curvas de dosis en profundidad
 - Perfiles de dosis
- Distribución de dosis en maniqués heterogéneos irradiados con haces pequeños
- Distribución de dosis para localizaciones típicas con campos específicos
- Distribuciones de dosis para pacientes pruebas representativos

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños



Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños



Actividades | Navegador web Chromium | 13 de sep 12:27 PM

Global search - Chromium

Global search x +

← → ↻ 🔒 elearning.iaea.org/m2/search/index.php?q=small+field+dosimetry 🌐 📄 🔍 🔒 🔴 🗄️ 🏠 👤 ⋮

 **IAEA** Learning Management System
powered by CLP4NET

LOG IN USING YOUR ACCOUNT ON:
[IAEA Nucleus](#)

OPEN-LMS English (en) Search 🔍

Global search

▶ Expand all

▼ Search

Enter your search query * ⓘ

▶ Filter

There are required fields in this form marked * .

Course content **Courses** Users

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 »

 **Dosimetry of Small Static Fields Used in External Beam Radiotherapy: IAEA TRS483 Code of Practice**

TYPE: videos and slides ENROLMENT REQUIREMENTS: completion of participant form and successful completion of an access test (on the IAEA TRS398 publication) OBJECTIVE: teach how to implement the International Code of Practice Dedicated to the

<https://elearning.iaea.org/m2/search/index.php?q=small+field+dosimetry>

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños



When is a field small?

Loss of lateral charged particle equilibrium

Partial occlusion of the primary source

Detector size too large

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños



When is a field

Loss of lateral charged p

Partial occlusion of the p

Detector size too large

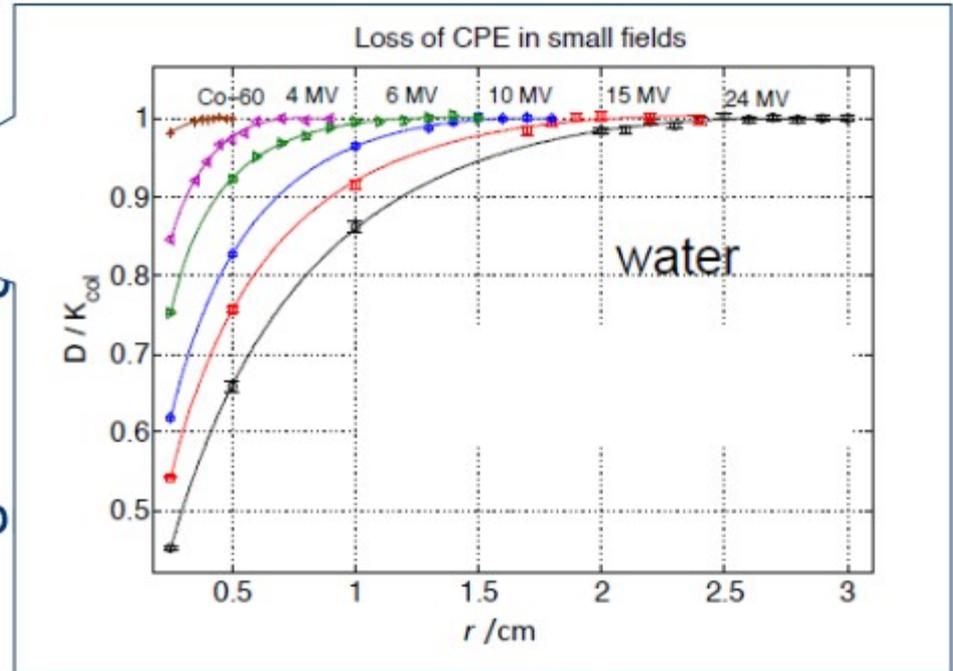


FIG. 1. Ratios of dose-to-water to water-collision-kerma calculated by Monte Carlo simulation in water at 5 cm depth on the central axis of high energy photon beams. The data are plotted as a function of the radius of clinical narrow beams defined at 100 cm SSD for the high energy X ray beams and 80 cm SSD for ^{60}Co (reproduced from Ref. [14] with the permission of P. Papaconstadopoulos, McGill University, Canada).

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños

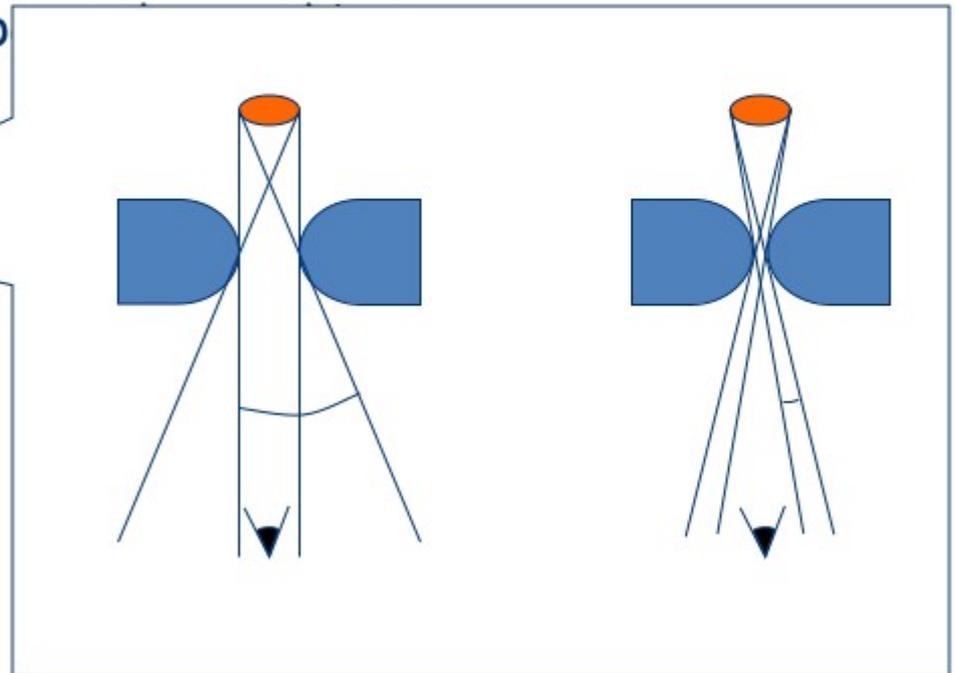


When is a field small?

Loss of lateral charged p

Partial occlusion of the

Detector size too large



Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños

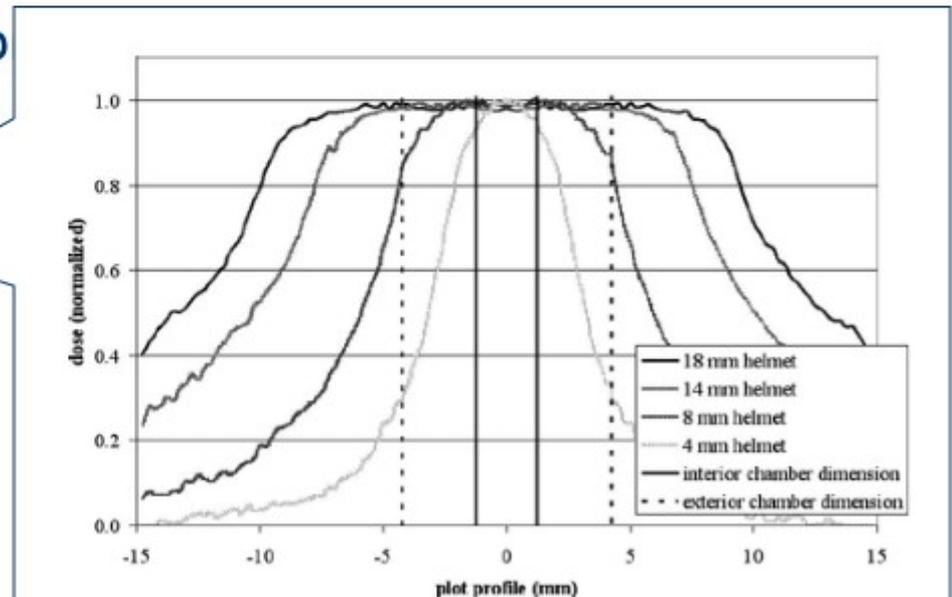


When is a field small?

Loss of lateral charged particle equilibrium

Partial occlusion of the p

Detector size too large



From Meltner et al. 2009 Med Phys 36:339-50

<https://elearning.iaea.org/m2/search/index.php?q=small+field+dosimetry>

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños



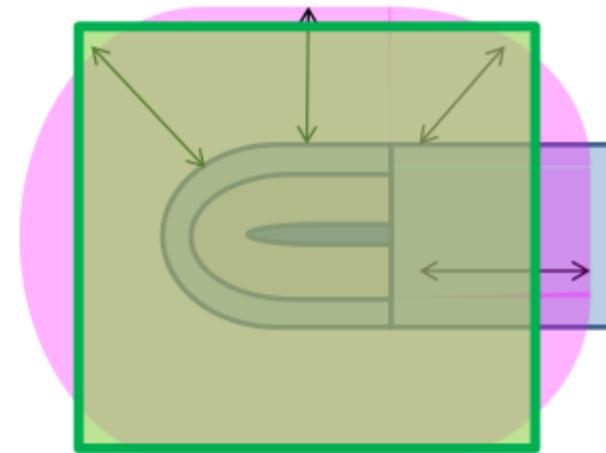
Detector related small field condition

Small field conditions exist when one of the outer edges of the detector is less than a lateral charged particle equilibrium range (r_{LCPE}) away from the edge of the field

$$r_{LCPE}/cm = 8.360 \cdot TPR_{20,10}(10) - 4.382$$

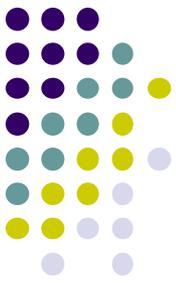
$$r_{LCPE}/cm = 0.07797 \cdot \%dd(10,10)_X - 4.112$$

IAEA TRS-483

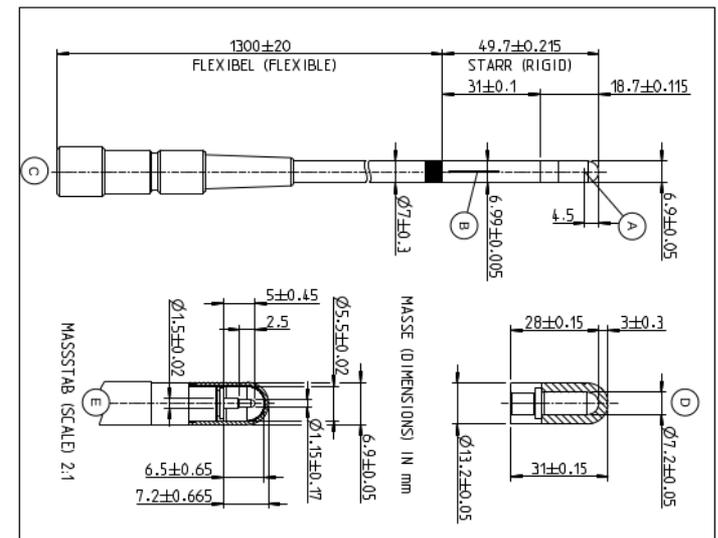


Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños

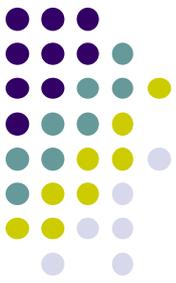


- Haz de fotones 6 MV,
 $TPR_{20,10}(10)=0,667$
 - $r_{LCPE}/cm=8.369 \times 0.667 - 4.382 = 1.20cm$
- Detector PTW M31010 tipo semiflex
 - $S_{min} = 0.69 + 2 \times 1.20 = 3.09cm$,
campo mínimo medible con este detector

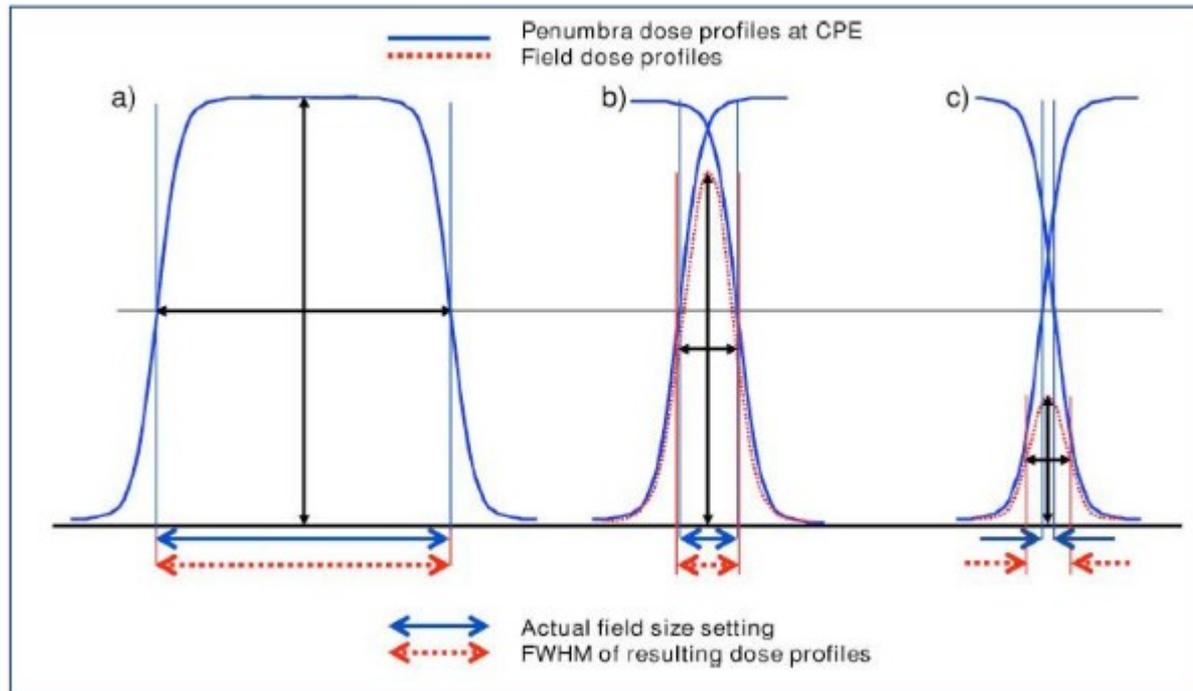


Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Definición
Tamaño de Campo



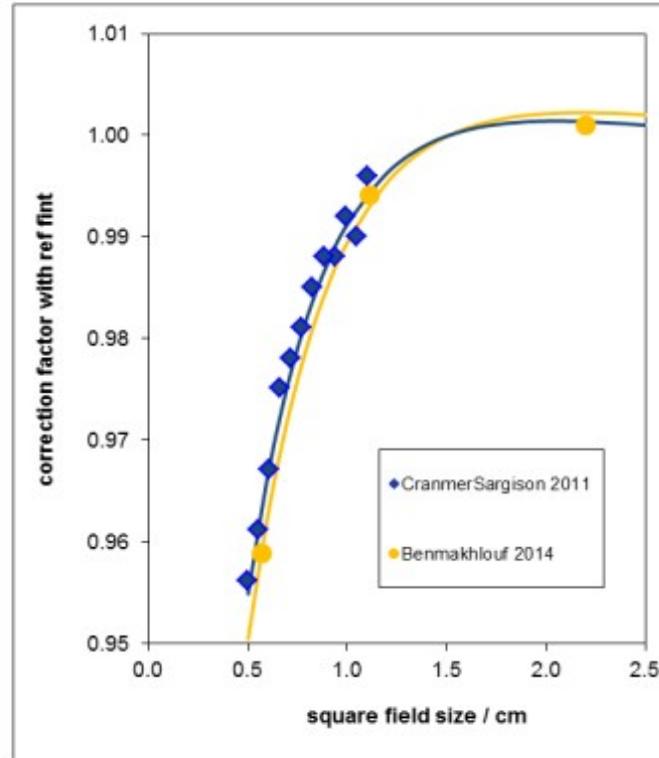
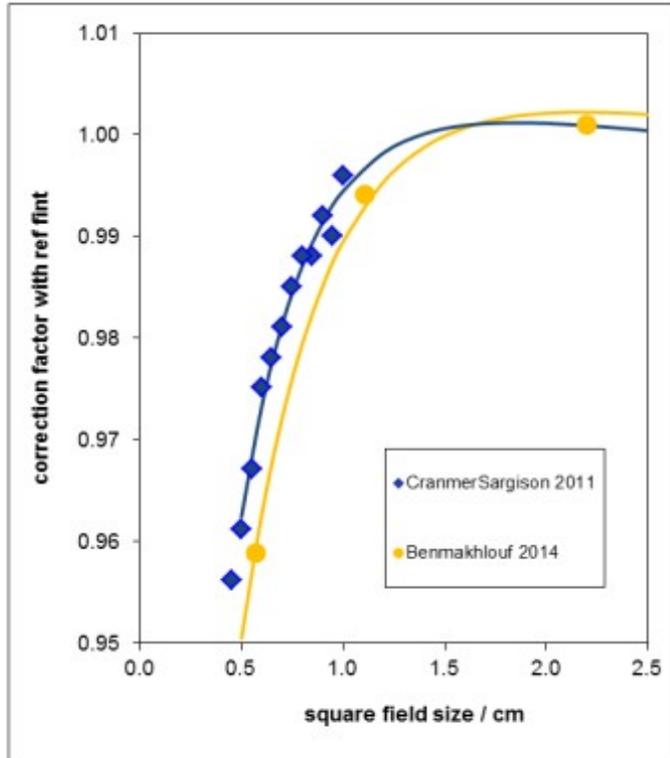
small field size /apparent field widening



From Das et al. 2008 Med Phys
35:206-15

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Definición
Tamaño de Campo

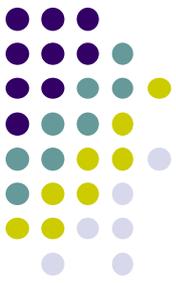


FWHM es una mejor representación del tamaño del campo que la configuración física de los colimadores

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Definición

Calidad del haz



- ¿Es apropiada y suficiente la definición de índice de calidad del campo convencional de referencia 10 cm x 10 cm para el resto de los campos pequeños?
- Si este fuera el caso, ¿Como puede determinarse el índice de calidad en unidades de tratamiento que no pueden establecer el campo convencional de referencia?

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Definición

Calidad del haz

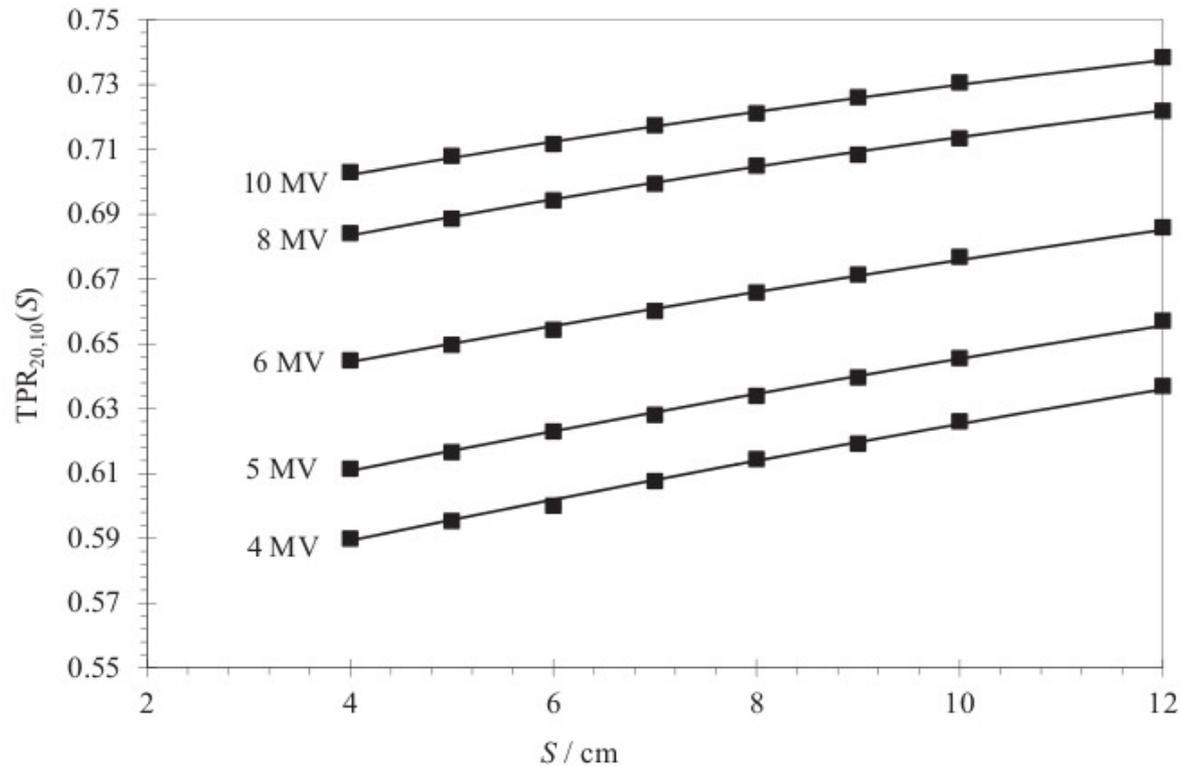


FIG. 5. Dependence of $TPR_{20,10}(S)$ on the field size S based on data from Ref. [32] (square symbols), and according to the model of Palmans [38] (curves) for field sizes between 4 cm and 12 cm and nominal photon beam energies between 4 MV and 10 MV (reproduced from Ref. [38] with the permission of the American Association of Physicists in Medicine).

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores



Two aspects of detector requirements in TRS-483

Machine-specific reference field dosimetry

Small field output factors

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores

dose determination with ion chambers



$$D_w = D_{\text{air}} \cdot s_{w,\text{air}} \cdot \rho$$

$$D_{\text{air}} = \frac{M}{m_{\text{air}}} \cdot \frac{W}{e} = \frac{M}{\rho \cdot V_{\text{air}}} \cdot \frac{W}{e}$$

*correction
factor*

$$OF = \frac{D_{\text{field}}}{D_{\text{ref}}} = \frac{M_{\text{field}} \cdot (s_{w,\text{air}})_{\text{field}} \cdot \rho_{\text{field}}}{M_{\text{ref}} \cdot (s_{w,\text{air}})_{\text{ref}} \cdot \rho_{\text{ref}}}$$

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores

dose determination with ion chambers



$$D_w = D_{\text{air}} \cdot S_{w,\text{air}} \cdot \rho$$

$$D_{\text{air}} = \frac{M}{m_{\text{air}}} \cdot \frac{W}{e} = \frac{M}{\rho \cdot V_{\text{air}}} \cdot \frac{W}{e}$$

OF

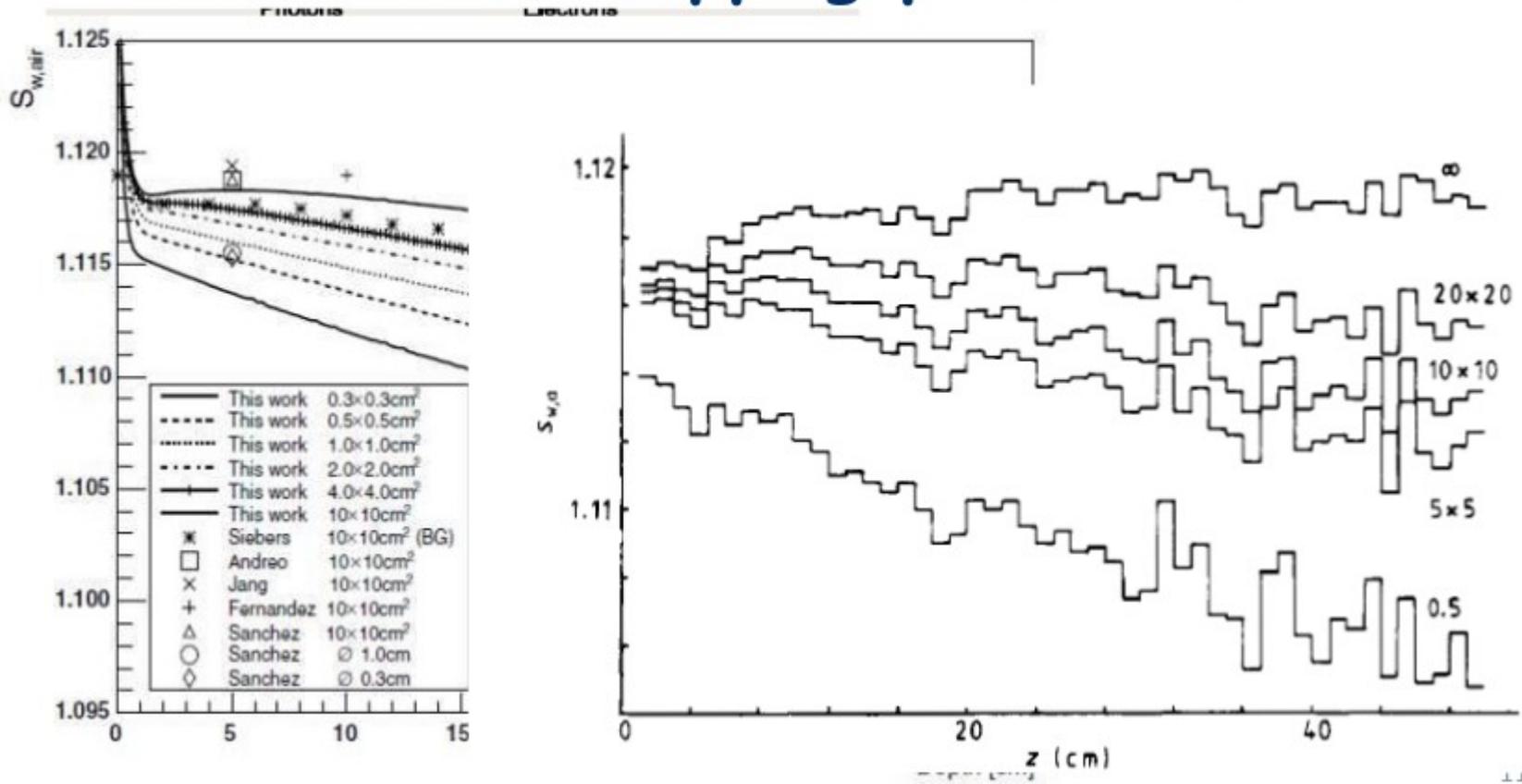
$$\Omega_{Q_{\text{clin}}, Q_{\text{msr}}}^{f_{\text{clin}}, f_{\text{msr}}} = \frac{M_{Q_{\text{clin}}}^{f_{\text{clin}}}}{M_{Q_{\text{msr}}}^{f_{\text{msr}}}} \cdot k_{Q_{\text{clin}}, Q_{\text{msr}}}^{f_{\text{clin}}, f_{\text{msr}}}$$

rection
or

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores

Ion chambers for small field dosimetry - Water to air stopping power ratios



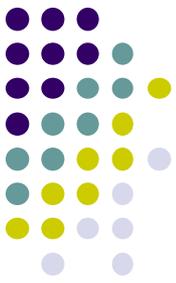
Eklund&Ahnesjö, PMB 53:4231 (2008)

Andreo&Brahme PMB 8:839 (1986)

<https://elearning.iaea.org/m2/search/index.php?q=small+field+dosimetry>

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores



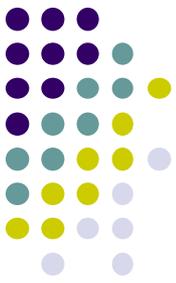
Small field radiation measurements are affected by

- CPE or electronic equilibrium
 - • Range of secondary electrons
 - • Medium (tissue, lung, bone)
- Photon energy and spectrum
 - • Change in spectrum
 - • Field size
 - • Off central axis points
 - • Change in μ_{en}/ρ and s/ρ
- Detector dimensions
 - • Volume
 - • Signal/noise

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores

Small ionization chambers



Air-filled

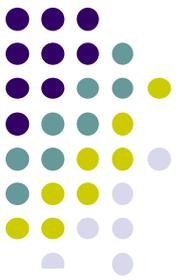
- Good stability
- Sensitivity puts lower size limit -> volume averaging
- Stem and cable currents
- Polarity effects

Liquid-filled

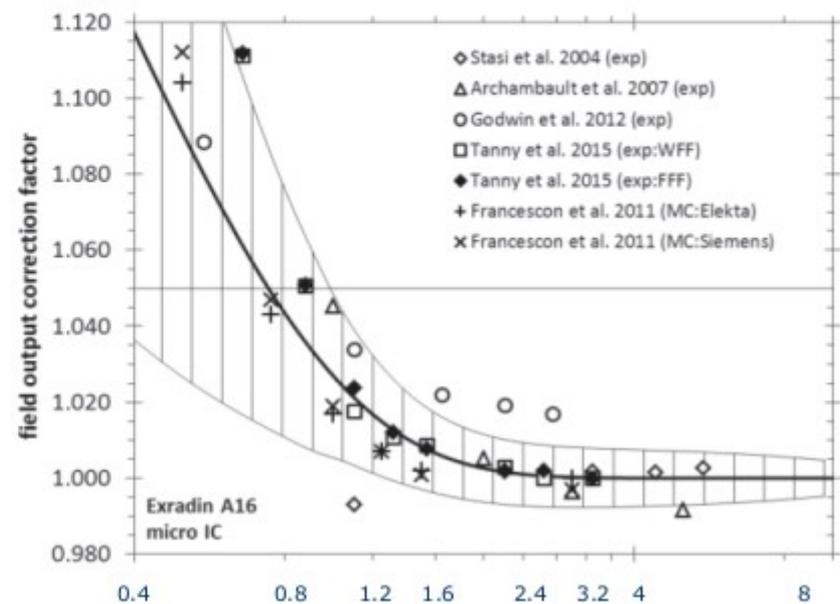
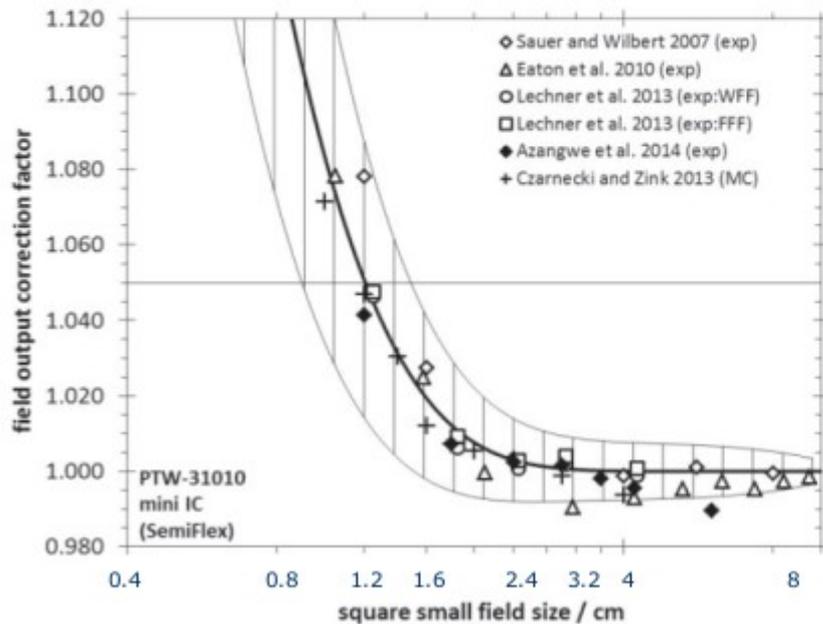
- Higher sensitivity
- Smaller volume
- Density close to water
- Less stable (deterioration liquid, leaking, etc.)
- Dose rate dependence

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores

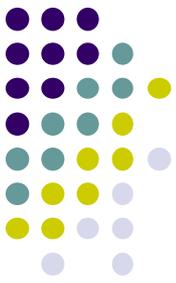


Small ionization chambers - output correction factors

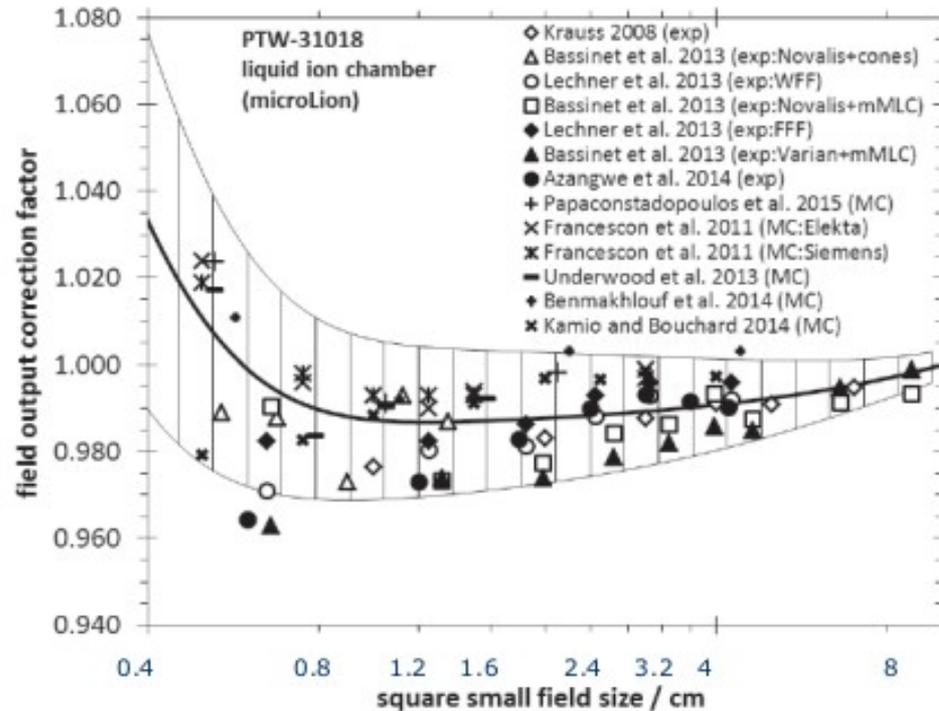


Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores



Liquid ionization chamber



Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores

Silicon diodes

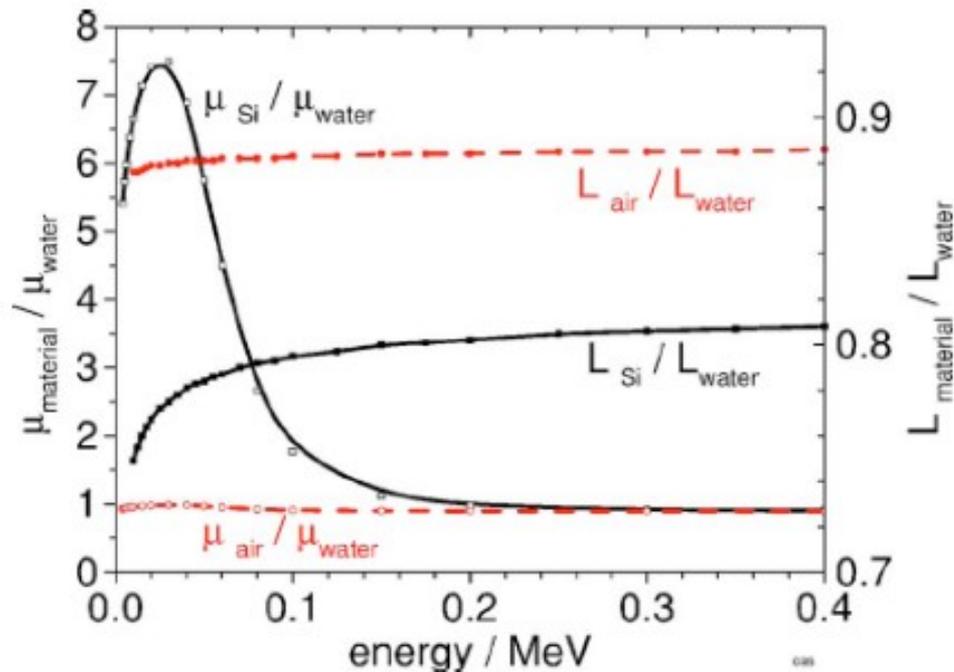


- Small
- Sensitive
- Small temperature dependence
- Unshielded diodes: over respond in large fields
- Shielded diodes: large perturbations in small fields
- Angular dependence
- Radiation damage

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores

Diodes for small field dosimetry



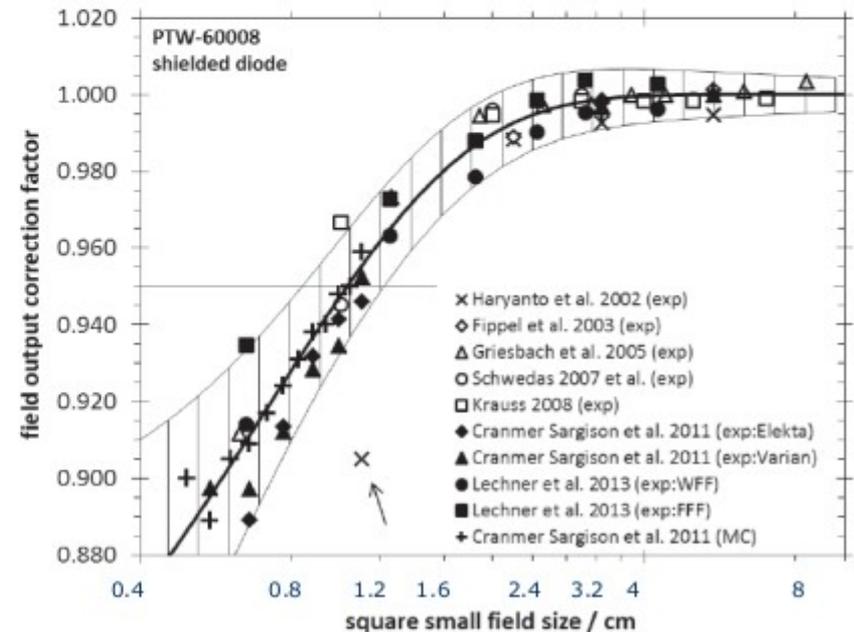
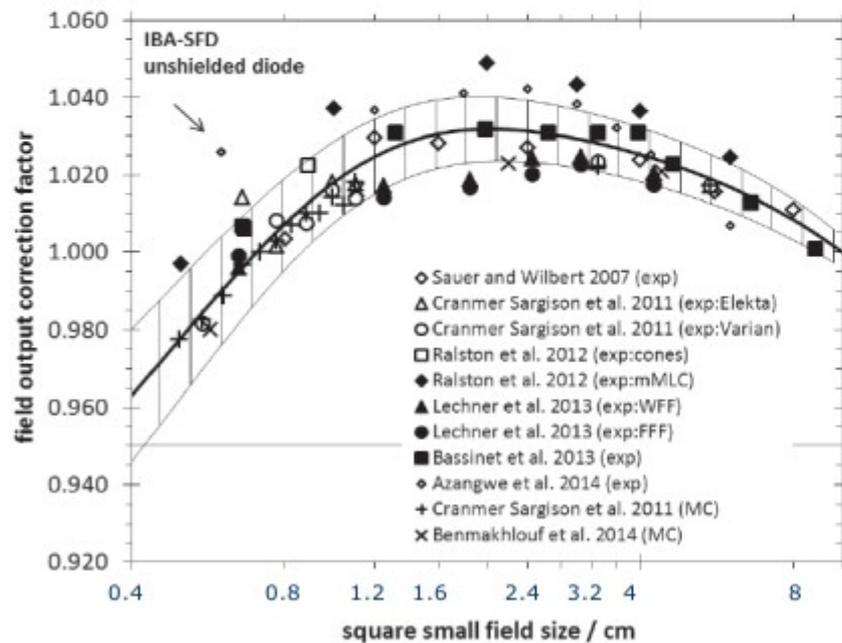
Sauer and Wilbert
2007 Med Phys
34:1983-8

<https://elearning.iaea.org/m2/search/index.php?q=small+field+dosimetry>

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores

Silicon diodes - small field output correction factors



Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores

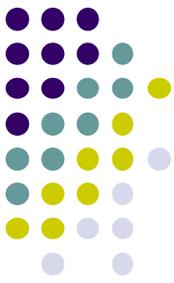
Diamond

- Small
- Sensitive
- No pre-irradiation needed
- Small temperature dependence
- Stopping power ratio diamond/water almost independent of energy
- Recombination (single-crystal natural diamond) -> dose rate dependence
- Expensive

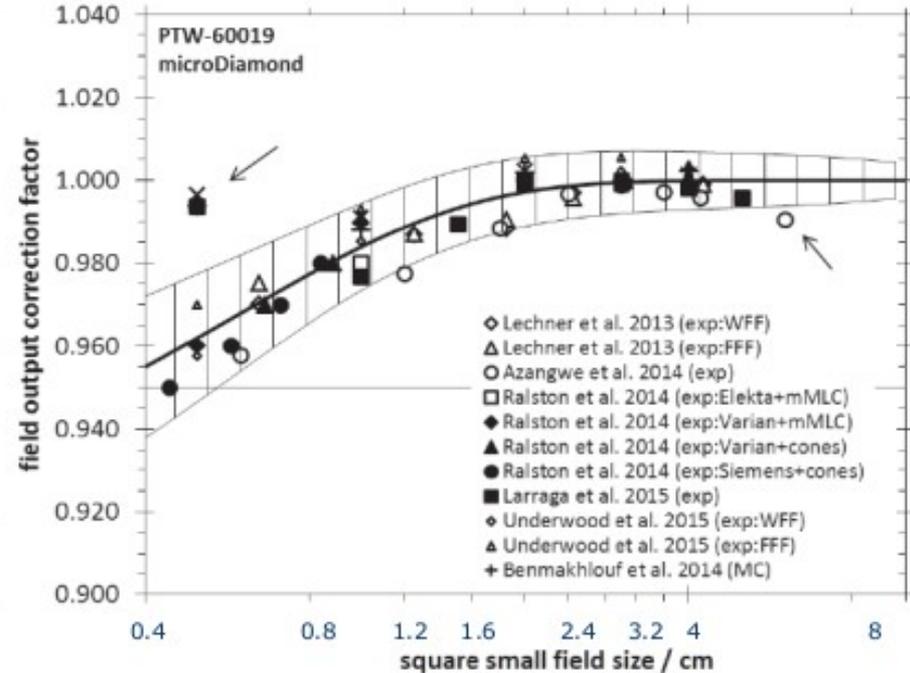
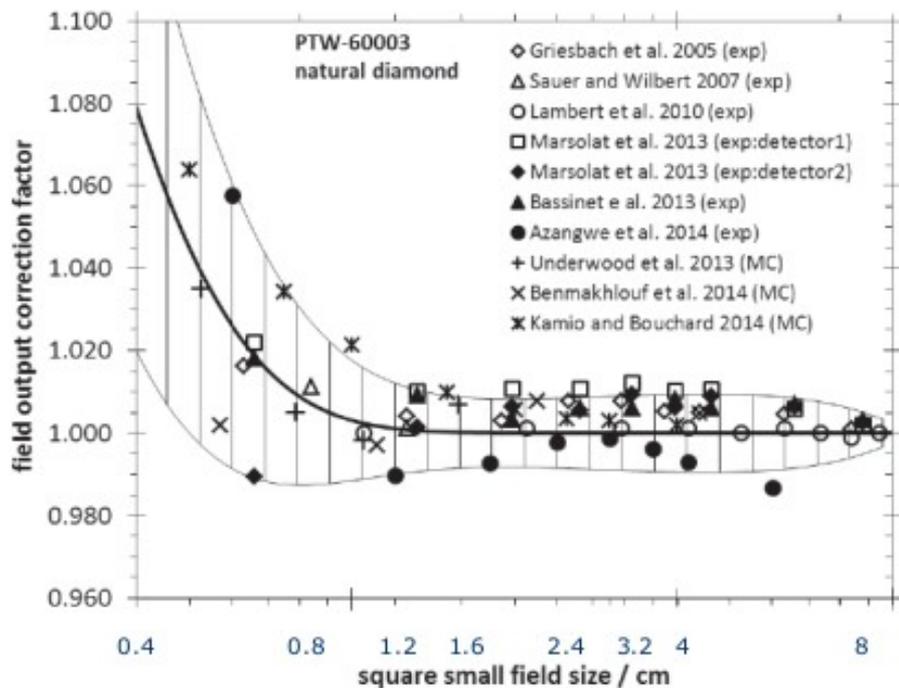


Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores



Diamond - output correction factors



Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores

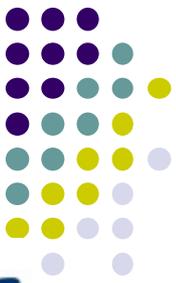


Others

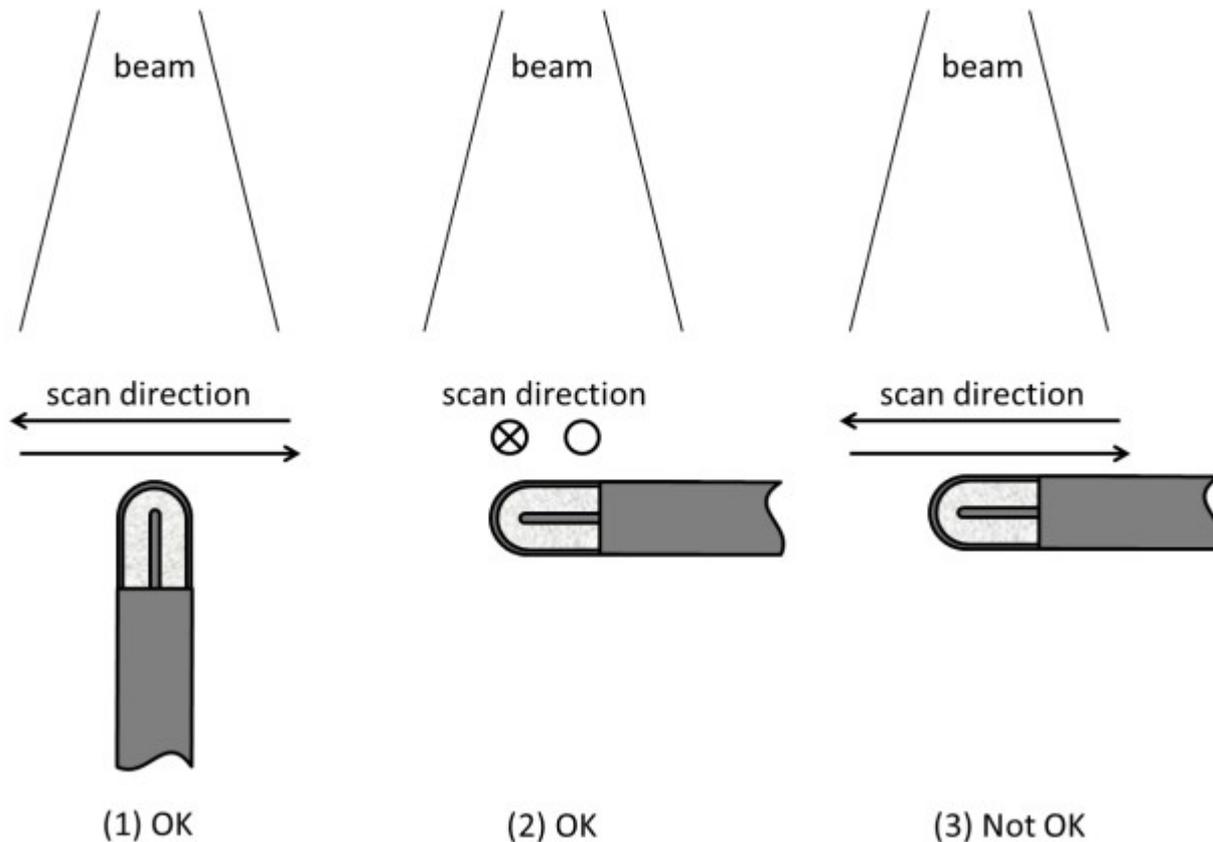
- MOSFET
- TLD
- OSL
- Radiochromic and radiographic film
- Organic scintillator

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores



Detector orientation for lateral profiles

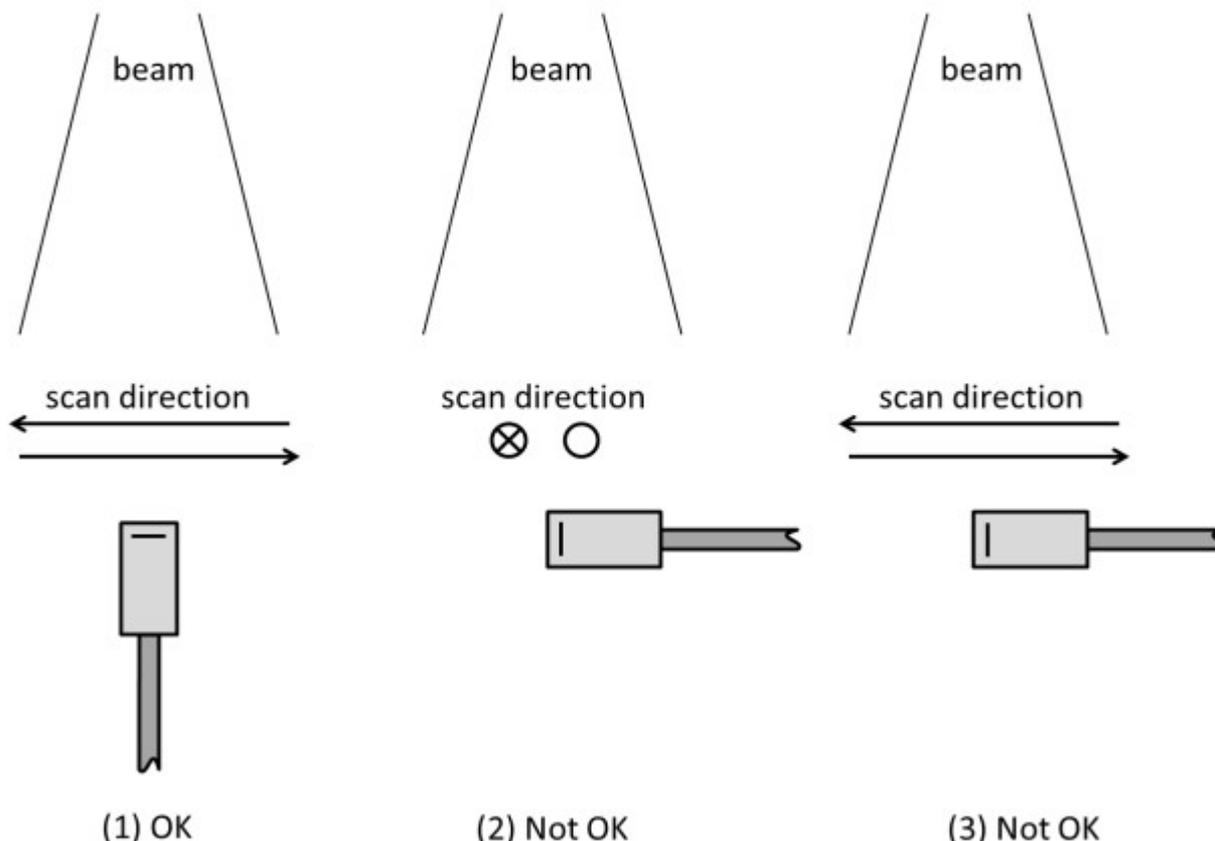


Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores



Detector orientation for lateral profiles



Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Detectores

Summary



- No one detector can satisfy all dosimetry applications
- The various clinical dosimetric applications require detectors with special properties such as:
 - dimensions for small field measurements
 - traceability for output calibration
 - non-obtrusive for in-vivo measurements
- Important to understand the characteristics and limitations of the various types of radiation detectors for use in radiation dosimetry
- Need for output correction factors!
- It is recommended to use at least two, possibly three different detector types

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: PDD, Factores de campo



- Full-scatter 3D water phantoms (also known as 3D radiation field analysers) typically used for the measurement of scanned dosimetric data. It is critical that they are commissioned for alignment, orthogonality, distance accuracy and hysteresis effects before use.



Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: PDD



Aspectos a considerar durante la toma de medidas:

- Posición cero del detector
- Alineación de los ejes del tanque 3D y la unidad de tratamiento
- Inclinação del tanque 3D
- Inclinação del brazo de la unidad
- Velocidad de medición
- Tiempo de medición
- Histéresis de los mecanismos del tanque 3D

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: Factores de campo



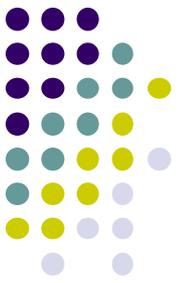
Detector choice with relation to field size

The minimum field size recommended for measurements with real time detectors (those providing an instantaneous and potentially continuous signal readout) and for off-line detectors (those that provide a readout after post-processing) is such that the detector specific output correction factor is not greater than $\pm 5\%$ for a particular machine. For this reason Tables 23–27 do not include $k_{Q_{\text{clin}}^{f_{\text{clin}}}, Q_{\text{msr}}^{f_{\text{msr}}}}$ values outside this interval. It is understood that detectors or

For the determination of field output factors, the volume averaging effect will be one of the limiting issues for the choice of a detector. The detector size is such that the volume averaging correction factor $(k_{\text{vol}})_{Q_{\text{clin}}^{f_{\text{clin}}}}$ for the small field of interest, f_{clin} , in the beam of quality Q_{clin}^{12} , is limited by $0.95 \leq (k_{\text{vol}})_{Q_{\text{clin}}^{f_{\text{clin}}}} \leq 1.05$.

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: Factores de campo



Reference conditions

normally at z_{ref} except for CyberKnife at z_{max}
procedures discussed for z_{max}

Equivalent field size

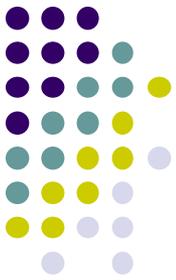
Field output factor

Definition

Intermediate field method

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: Factores de campo



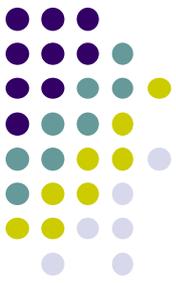
Difference between equivalent fields for large fields and small fields

Equivalent square msr field size: based on equal scatter conditions

Equivalent square small field size: based on equal area

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: Factores de campo



Equivalent square small field size

Cranmer-Sargison et al 2011 RO 109:350

Rectangular field:

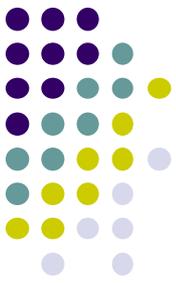
$$S_{\text{clin}} = \sqrt{A B}$$

Circular field:

$$S_{\text{clin}} = r\sqrt{\pi} = 1.77r$$

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: Factores de campo



Field output factor - definition

$$\Omega_{Q_{\text{clin}}, Q_{\text{msr}}}^{f_{\text{clin}}, f_{\text{msr}}} = \frac{D_{w, Q_{\text{clin}}}^{f_{\text{clin}}}}{D_{w, Q_{\text{msr}}}^{f_{\text{msr}}}} = \frac{M_{Q_{\text{clin}}}^{f_{\text{clin}}}}{M_{Q_{\text{msr}}}^{f_{\text{msr}}}} \cdot k_{Q_{\text{clin}}, Q_{\text{msr}}}^{f_{\text{clin}}, f_{\text{msr}}}$$

ratio of
detector
readings

output
correction
factor

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: Factores de campo



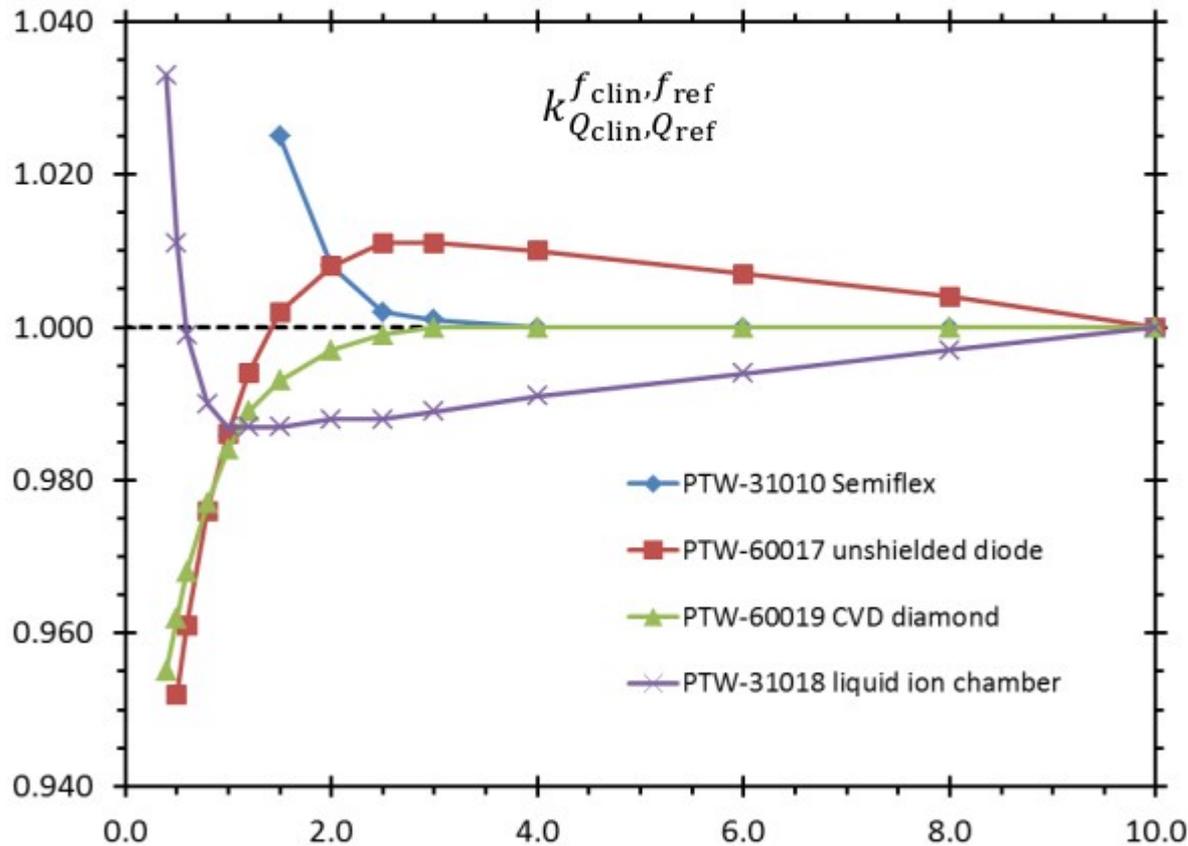
TABLE 26. FIELD OUTPUT CORRECTION FACTORS $k_{Q_{clin}^{f_{msr}}/Q_{clin}^{f_{msr}}}$ FOR FIELDS COLLIMATED BY AN MLC OR SRS CONE AT 6 MV WFF AND FFF MACHINES, AS A FUNCTION OF THE EQUIVALENT SQUARE FIELD SIZE

Detector	Equivalent square field size, S_{clin} (cm)												
	8.0	6.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4
Ionization chambers													
Exradin A14SL micro Shonka slimline	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.010	1.027	—	—	—	—	—
Exradin A16 micro	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.003	1.008	1.017	1.027	1.043	—	—	—
IBA/Wellhöfer CC01	1.002	1.004	1.007	1.008	1.008	1.009	1.011	1.013	1.018	1.027	1.047	—	—
IBA/Wellhöfer CC04	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	1.009	1.022	1.041	—	—	—	—
IBA/Wellhöfer CC13/IC10/IC15	1.000	1.000	1.000	1.001	1.002	1.009	1.030	—	—	—	—	—	—
PTW 31002 Flexible	1.000	1.000	1.001	1.004	1.009	1.023	—	—	—	—	—	—	—
PTW 31010 Semiflex	1.000	1.000	1.000	1.001	1.002	1.008	1.025	—	—	—	—	—	—
PTW 31014 PinPoint	1.000	1.000	1.000	1.002	1.004	1.009	1.023	1.041	—	—	—	—	—
PTW 31016 PinPoint 3D	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.004	1.013	1.025	1.039	—	—	—	—

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: Factores de campo

Output correction factors

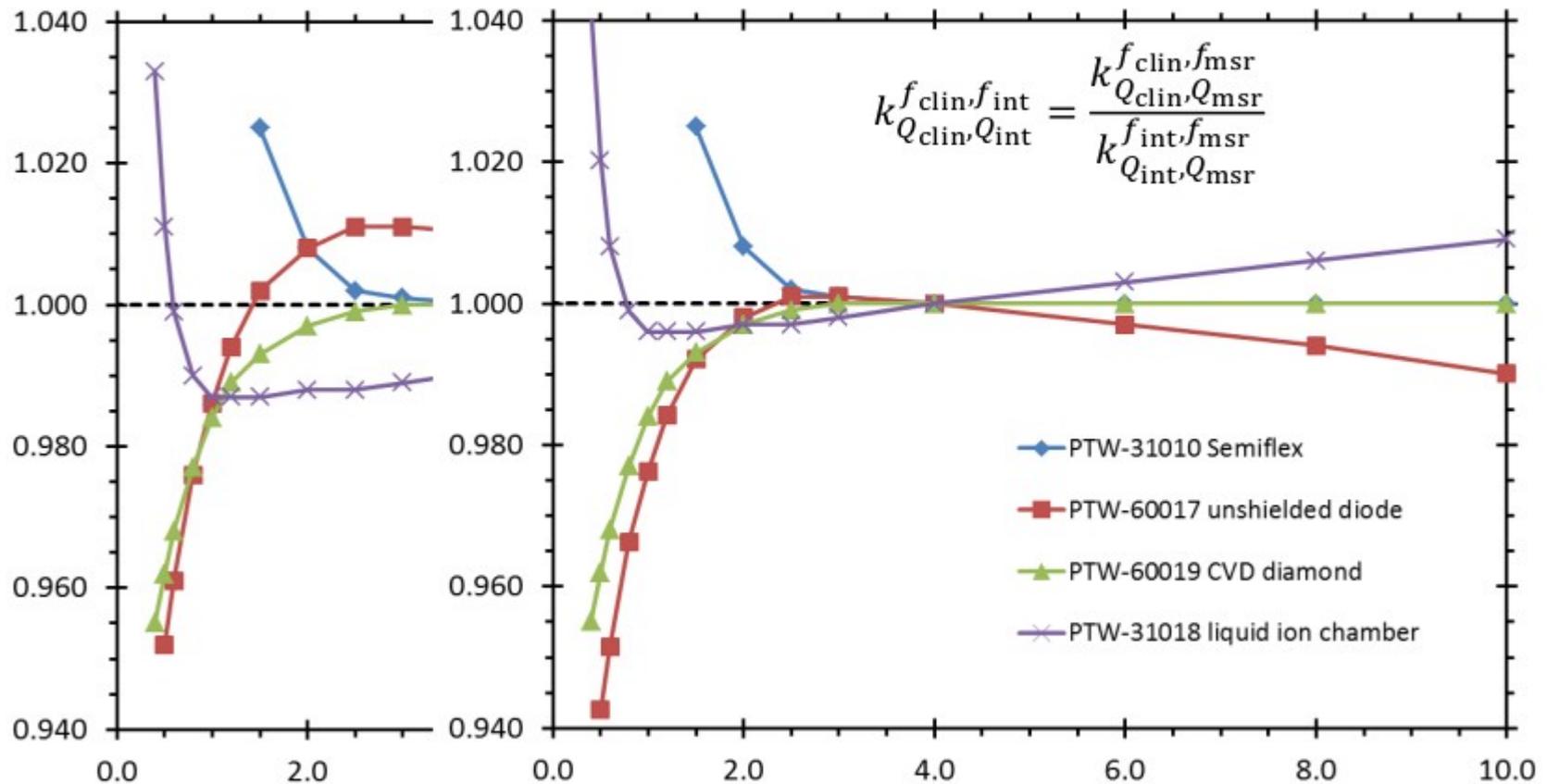


Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: Factores de campo



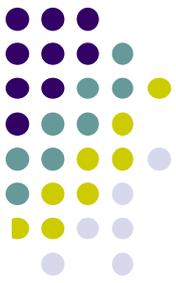
Output correction factors



Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: Factores de campo

Intermediate field method



$$\Omega_{Q_{\text{clin}}, Q_{\text{msr}}}^{f_{\text{clin}}, f_{\text{msr}}} = \left[\frac{M_{Q_{\text{clin}}}^{f_{\text{clin}}}}{M_{Q_{\text{int}}}^{f_{\text{int}}}} \cdot k_{Q_{\text{clin}}, Q_{\text{int}}}^{f_{\text{clin}}, f_{\text{int}}} \right]_{\text{det}} \cdot \left[\frac{M_{Q_{\text{int}}}^{f_{\text{int}}}}{M_{Q_{\text{msr}}}^{f_{\text{msr}}}} \cdot k_{Q_{\text{int}}, Q_{\text{msr}}}^{f_{\text{int}}, f_{\text{msr}}} \right]_{\text{IC}}$$

$$\left[k_{Q_{\text{clin}}, Q_{\text{int}}}^{f_{\text{clin}}, f_{\text{int}}} \right]_{\text{det}} = \frac{\left[k_{Q_{\text{clin}}, Q_{\text{msr}}}^{f_{\text{clin}}, f_{\text{msr}}} \right]_{\text{det}}}{\left[k_{Q_{\text{int}}, Q_{\text{msr}}}^{f_{\text{int}}, f_{\text{msr}}} \right]_{\text{det}}}$$

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: Factores de campo



Some practical considerations

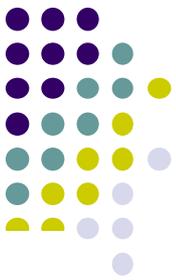
Influence quantities for all readings!

Not too many small fields in between reference fields

Collimator approach to collimator setting

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: Factores de campo



Data

For cone-based, MLC (and Jaw) based fields: 6 MV and 10 MV

TABLE 26. FIELD OUTPUT CORRECTION FACTORS $k_{Q_{\text{clin}}^{\text{clin}}, Q_{\text{msr}}^{\text{msr}}}^{f_{\text{clin}}, f_{\text{msr}}}$ FOR FIELDS COLLIMATED BY AN MLC OR SRS CONE AT 6 MV WFF AND FFF MACHINES, AS A FUNCTION OF THE EQUIVALENT SQUARE FIELD SIZE

TABLE 27. FIELD OUTPUT CORRECTION FACTORS $k_{Q_{\text{clin}}^{\text{clin}}, Q_{\text{msr}}^{\text{msr}}}^{f_{\text{clin}}, f_{\text{msr}}}$ FOR SMALL FIELDS COLLIMATED BY AN MLC OR SRS CONE AT 10 MV WFF AND FFF MACHINES, AS A FUNCTION OF THE EQUIVALENT SQUARE FIELD SIZE

For specialized units: CyberKnife, TomoTherapy, GammaKnife

TABLE 23. FIELD OUTPUT CORRECTION FACTORS $k_{Q_{\text{clin}}^{\text{clin}}, Q_{\text{msr}}^{\text{msr}}}^{f_{\text{clin}}, f_{\text{msr}}}$ FOR CYBERKNIFE MACHINES, AS A FUNCTION OF THE DIAMETER OF CIRCULAR FIELDS (COLLIMATOR SETTING) FOR THE DETECTOR ORIENTATIONS SPECIFIED IN TABLE 22

TABLE 24. FIELD OUTPUT CORRECTION FACTORS $k_{Q_{\text{clin}}^{\text{clin}}, Q_{\text{msr}}^{\text{msr}}}^{f_{\text{clin}}, f_{\text{msr}}}$ FOR TOMOTHERAPY MACHINES, AS A FUNCTION OF THE EQUIVALENT SQUARE FIELD SIZE

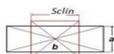
TABLE 25. FIELD OUTPUT CORRECTION FACTORS $k_{Q_{\text{clin}}^{\text{clin}}, Q_{\text{msr}}^{\text{msr}}}^{f_{\text{clin}}, f_{\text{msr}}}$ FOR THE GAMMA KNIFE MODEL PERFEXION, AS A FUNCTION OF THE DIAMETER OF THE CIRCULAR COLLIMATOR [179]

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: Factores de campo



Tamaño de campo nominal (cm2)	Tamaño de campo real FWHM (cm2)		Tamaño de campo equivalente (cm2)	$k_{Q_{clin}^{f_{msr}}}$	$\Omega_{Q_{clin}^{f_{msr}}}$	$\left[\frac{M_{Q_{clin}^{f_{msr}}}}{M_{Q_{clin}^{f_{msr}}}} \right]_{\text{del}} \left[\frac{M_{Q_{clin}^{f_{msr}}}}{M_{Q_{clin}^{f_{msr}}}} \right]_{\text{IC}}$	Sclin	Semiflex	Sclin	Pinpoint	Promedio
	a	b									
0,6x0,6	0,541	0,684	0,61	0,983	0,584	0,589					0,589
0,8x0,8	0,714	0,865	0,79	0,9855	0,680	0,686					0,683
1x1	0,901	1,062	0,98	0,991	0,735	0,741			1,00	0,747	0,744
1.5x1.5	1,397	1,557	1,47	1,000	0,804	0,811	1,47	0,811	1,50	0,813	0,812
2x2	1,907	2,069	1,99	1,004	0,836	0,844	1,97	0,841	2,00	0,842	0,842
2.5x2.5	2,427	2,59	2,51	1,003	0,855	0,863	2,48	0,858	2,50	0,863	0,861
3x3	3	3	3,00	1,002	0,870	0,878	2,98	0,875	3,00	0,877	0,876
4x4	4	4	4,00	1,000	0,896	0,904	5,00	0,924	4,00	0,902	
10x10	10	10	10,00	0,989	0,989	0,998	10,02	1,000	10,00	1,000	



Tamaño de campo nominal (cm2)	Lecturas (n=10)		PDD (5cm)	T(°C)	P(kPa)	Ktp
	Promedio	Desv Estand				
0,6x0,6	5,25E-02	-0,08%		20	75	1,351
0,8x0,8	6,10E-02	-0,05%		20	75	1,351
1x1	6,55E-02	-0,05%		20	75	1,351
1.5x1.5	7,10E-02	-0,01%		20	75	1,351
2x2	7,36E-02	-0,07%		20	75	1,351
2.5x2.5	7,53E-02	-0,02%		20	75	1,351
3x3	7,67E-02	-0,03%		20	75	1,351
4x4	7,92E-02	-0,02%		20	75	1,351
10x10	8,83E-02	0,00%		20	75	1,351

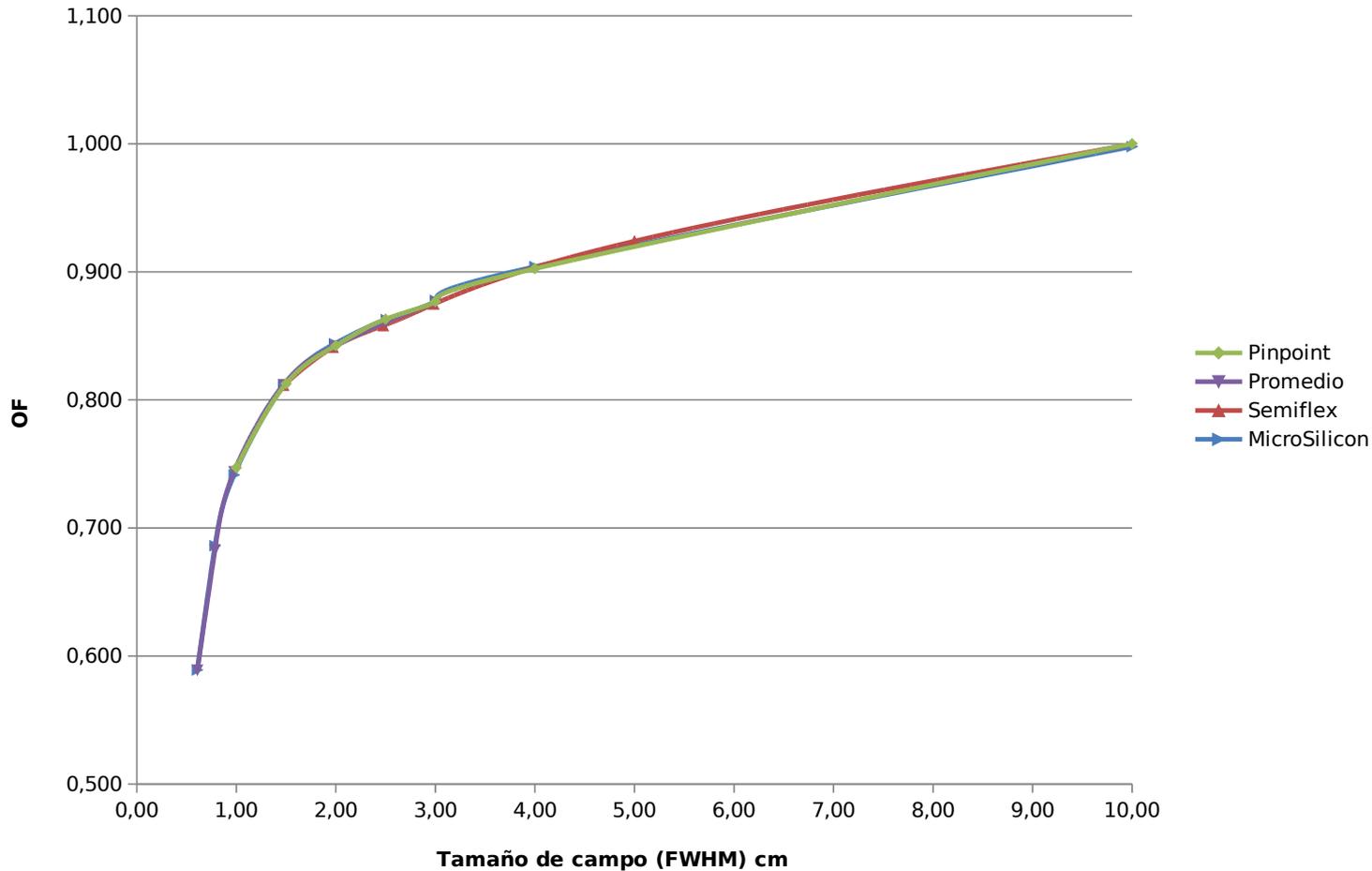
Tamaño de campo nominal (cm2)	Lecturas (n=10)		PDD (5cm)	T(°C)	P(kPa)	Ktp
	Promedio	Desv Estand				
1X1	0,4498	0,02%		20,7	75	1,354
1.5x1.5	0,5019	0,05%		20,7	75	1,354
2x2	0,5249	0,03%		20,7	75	1,354
2.5x2.5	0,5394	0,04%		20,7	75	1,354
3x3	0,548	0,04%		20,7	75	1,354
4x4	0,5646	0,04%		20,7	75	1,354
10x10	0,6256	0,01%		20,7	75	1,354

Puesta en servicio clínico IMRT

TPS, Dosimetría de haces pequeños. Mediciones relativas: Factores de campo



OF SFD



Puesta en servicio clínico IMRT



Tarea. En su institución se necesita hacer la puesta en servicio de la técnica de IMRT y se pretende utilizar los modos de administración de tratamientos de IMRT múltiples segmentos estáticos y ventana deslizante. Utilizando las recomendaciones del documento IAEA-AAPM TRS 483 conforme una propuesta de detectores a adquirir por su institución para la culminación exitosa de este proyecto