



República Oriental del Uruguay
Ministerio de Industria, Energía y Minería
Laboratorios de Tecnogestión

Laboratorio Secundario de Metrología de las Radiaciones Ionizantes (LSMRI)

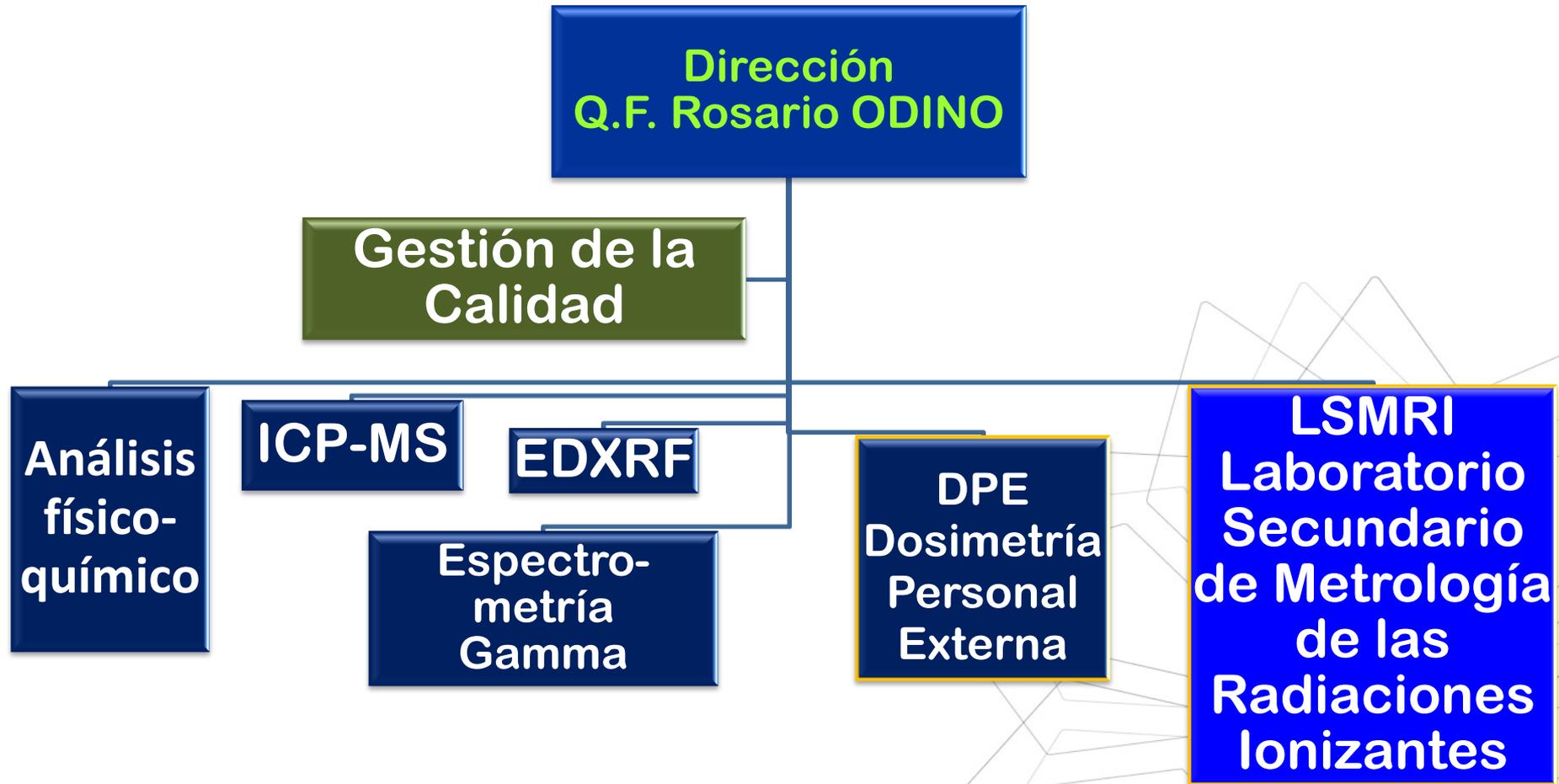
Metrología de Radiaciones Ionizantes y Dosimetría Personal
Escuela Universitaria de Tecnología Médica
Facultad de Medicina – UDELAR
5ª Jornada Académica de Integración

Mag.Fís. Guillermo Balay
guillermo.balay@miem.gub.uy
Responsable del LSMRI

calibraciones@miem.gub.uy

Noviembre 2019

Laboratorios de Tecnogestión



Metrología de Radiaciones Ionizantes

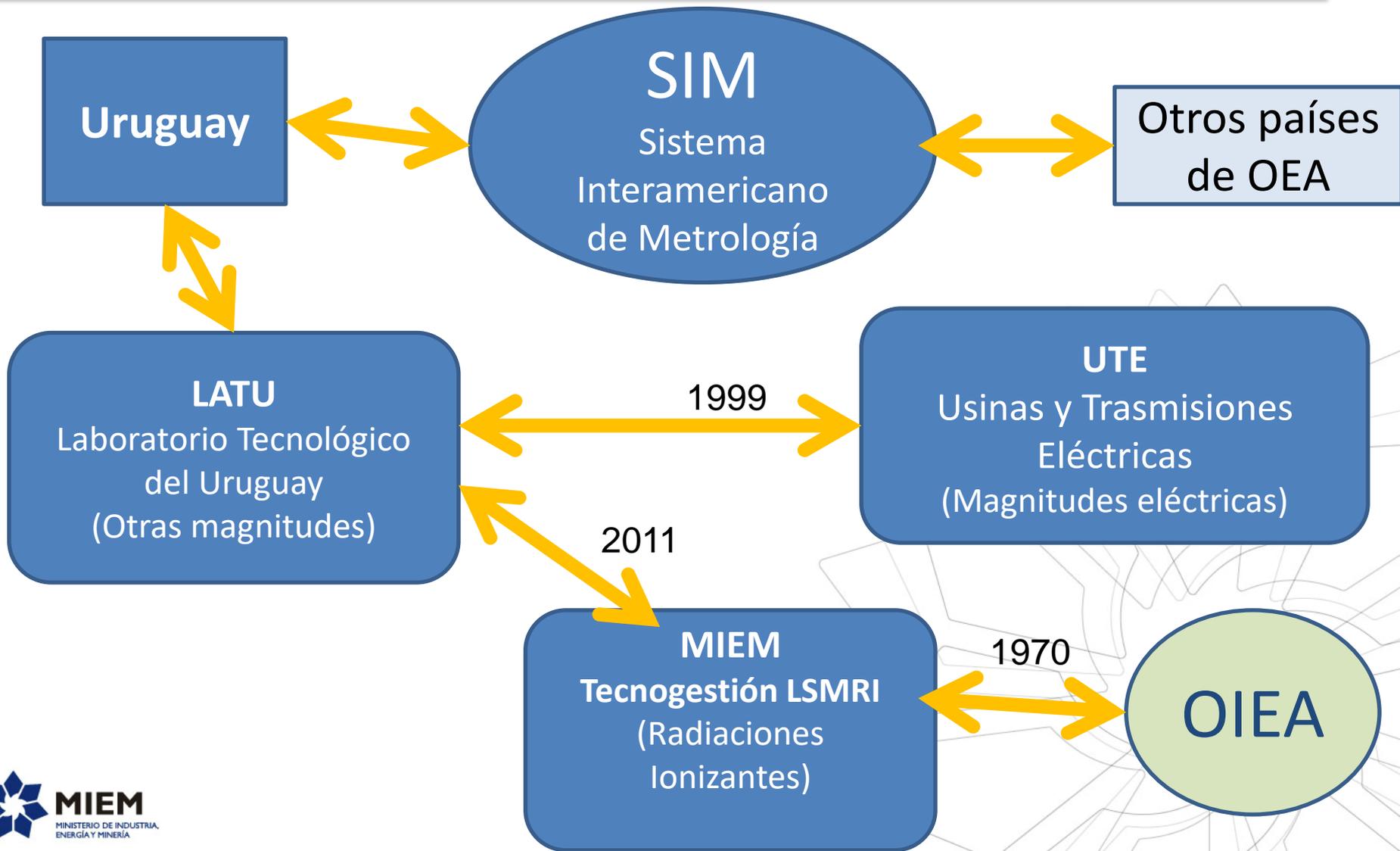
¿Qué es la Metrología?

- Ciencia de las mediciones y sus aplicaciones. (VIM:2008)
- Uruguay es firmante de la convención del Metro desde 1908.
- Desde 1999 el LATU es firmante del acuerdo de reconocimiento mutuo con el CIPM.
- Desde 2011 el LATU delega en el MIEM la dosimetría de Radiaciones Ionizantes.

¿Por qué es importante ?

- En **radioprotección** permite determinar con precisión la dosis de radiación a la que se ven expuestas las personas.
- En **radioterapia** permite asegurar que se entrega al paciente la dosis de radiación exacta, indicada por el médico tratante.

Esquema de colaboración



Tareas del LSMRI

Actuales

- **Calibración de detectores de radiaciones ionizantes (industria, Universidad, salud, ARNR, Ejército Nacional, empresas públicas y privadas nacionales e internacionales).**
- **Irradiación de dosímetros en film y TLDs con distintas calidades y dosis para Hp(10), Hp(3) y Hp(0,07).**
- **Calibración en dosis de equipos para monitoreo de rayos X (Victoreen 4000M+, etc.).**
- **Colaboración con el Inst. de Invest. Biológicas Dr. Clemente Estable y la UDELAR en experimentos de dosimetría biológica de radiaciones ionizantes.**
- **Calibración de cámaras de ionización y electrómetros a nivel de radioterapia (RT).**

En breve (2019-2020):

- **Calibración de detectores de contaminación superficial.**
- **Calibración de fuentes de braquiterapia y cámaras de pozo.**

Instalaciones del LSMRI

Nivel de Radioprotección (LSMRI-RP)

- Banco óptico con fuentes seleccionables de Cobalto-60, Cesio-137 y un equipo de Rayos X.
- Ubicado en los Laboratorios de Tecnogestión, dependientes de la DGS del MIEM (Hervidero 2861, Montevideo)

Nivel de Radioterapia (LSMRI-RT)

- Banco óptico con fuente de Cobalto-60.
- Ubicado en un bunker del Servicio de Radioterapia del Hospital de Clínicas “Dr. M.Quintela”.
- Convenio de cooperación firmado entre MIEM y UDELAR.

LSMRI-RP Radioprotección



LSMRI-RP Radioprotección

Co -60

Cs-137

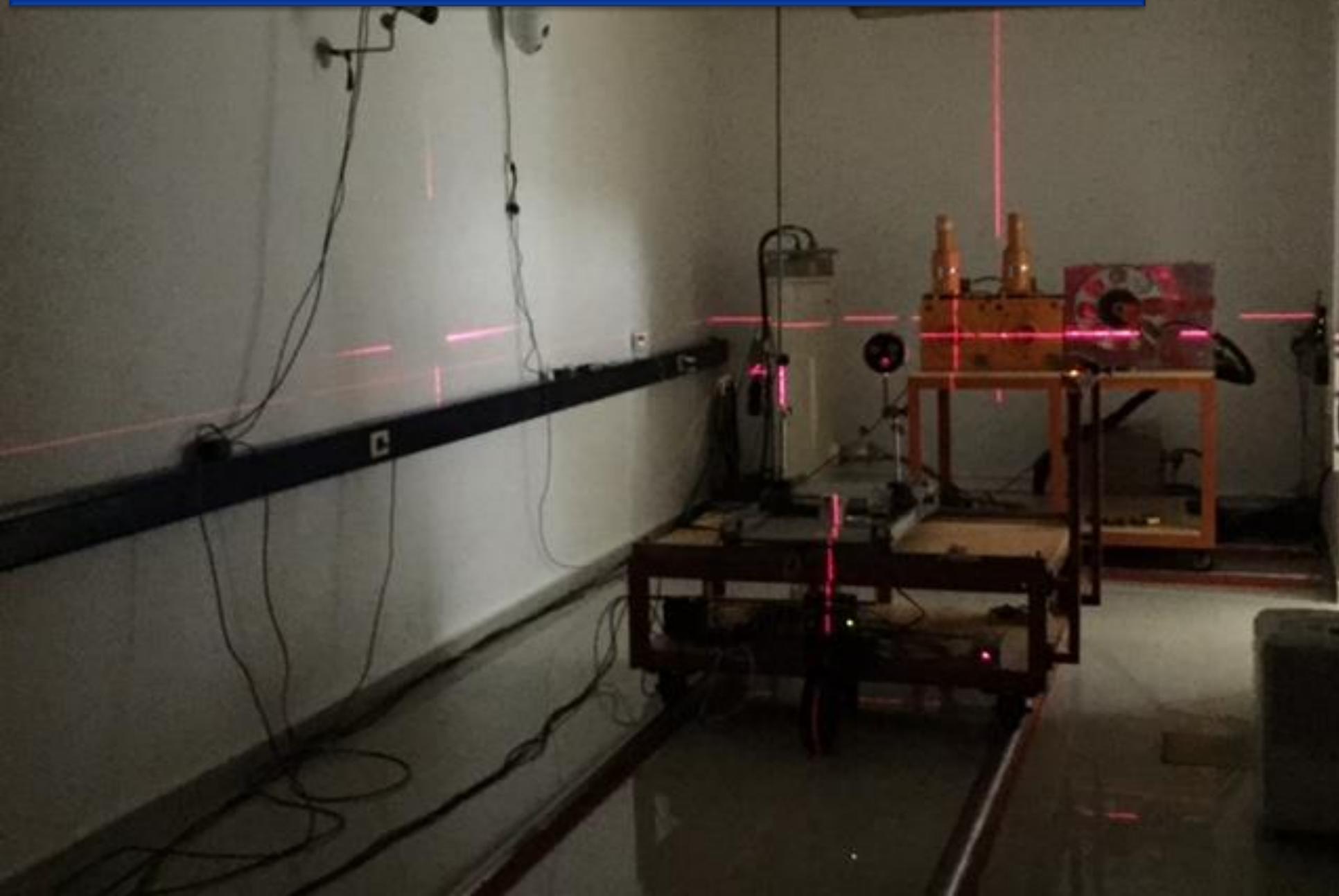
Cs-137 : 740 GBq (20 Ci) @ 02/17/1994
Co-60 : 3.7 GBq (0.1 Ci) @ 08/24/1995
X-ray : Pantak HF 160kV - 50mA
with ISO 4037:1 Narrow series qualities.



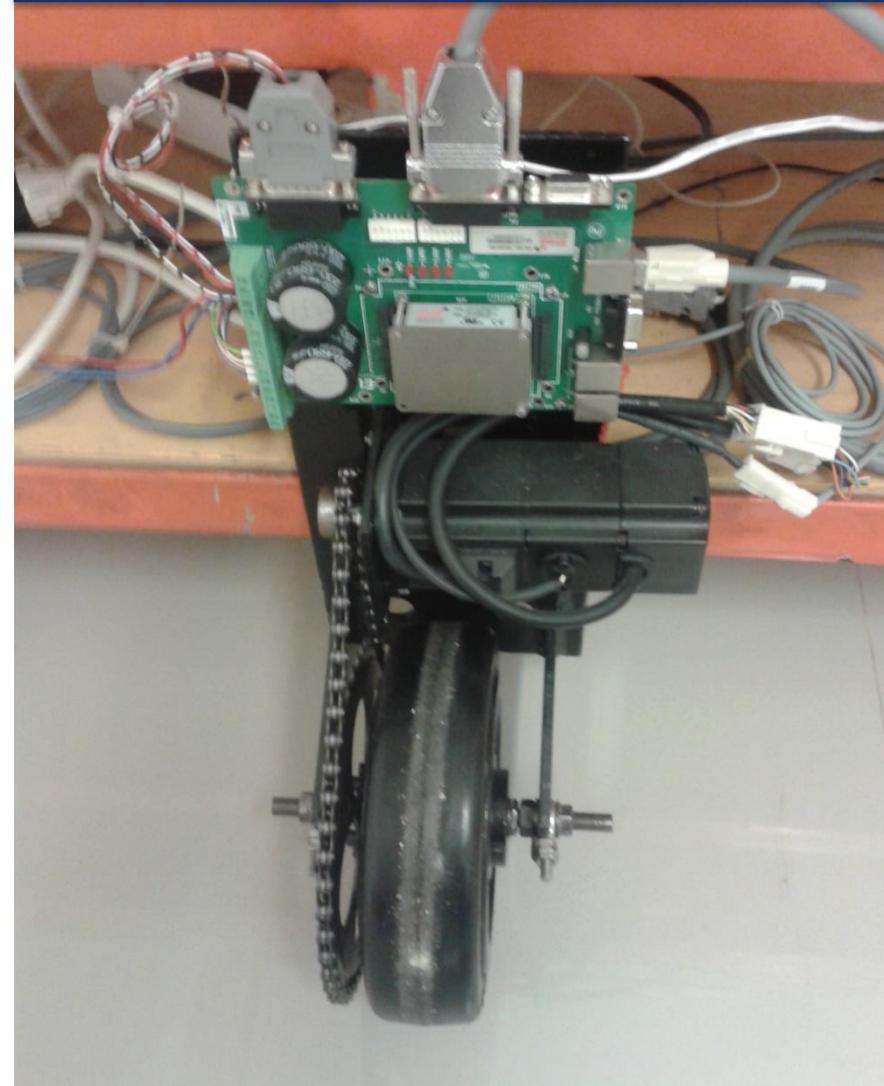
LSMRI-RP Radioprotección



LSMRI-RP Radioprotección



LSMRI-RP Radioprotección



Motor DC sin escobillas , con freno controlado remotamente.



**DIMETIX DLS-C15 Laser Distance Meter
0.05-65 m Typical Accuracy: ± 1.5 mm
Typical repeatability: ± 0.4 mm**

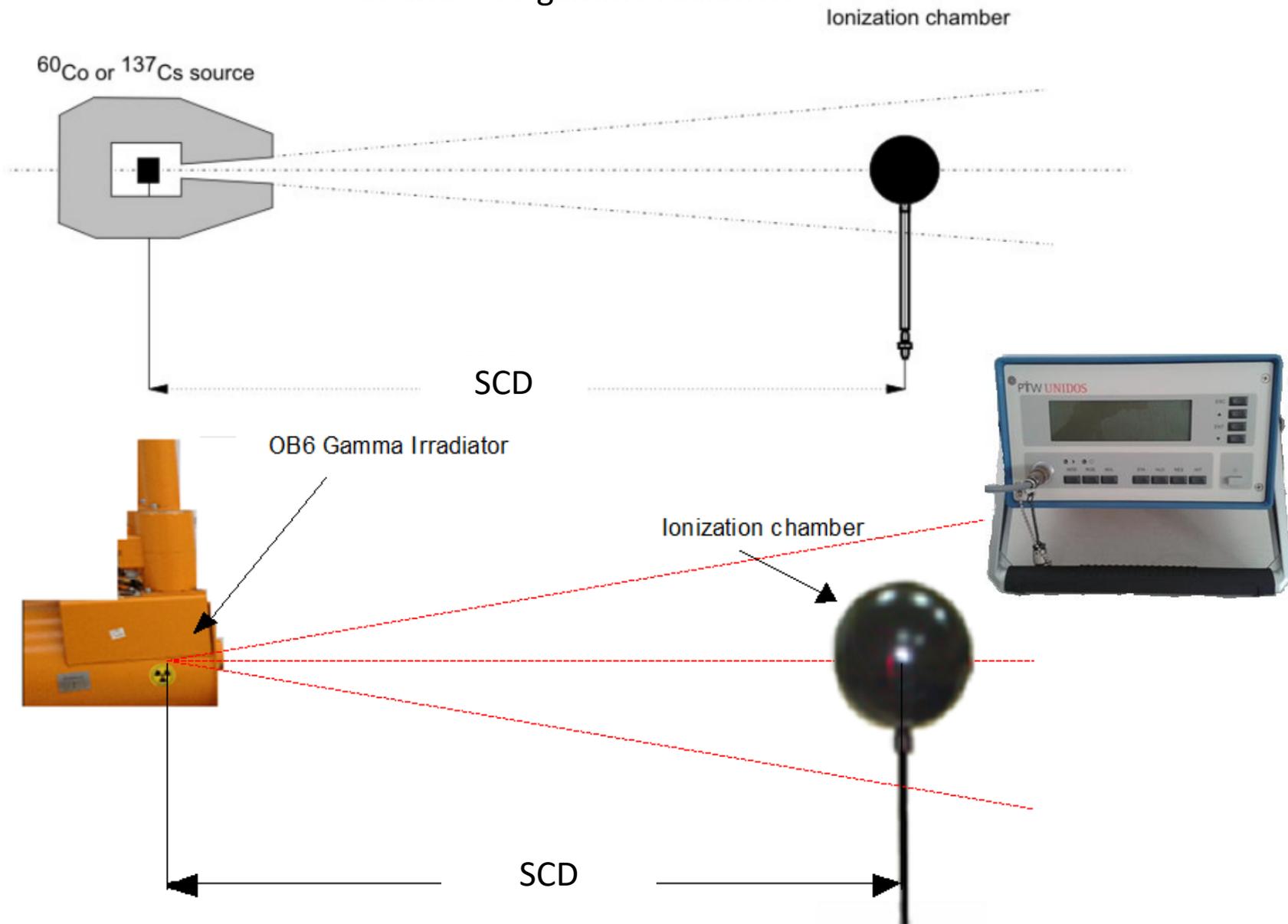
LSMRI-RP Cuarto de control

- Monitores CRT.
- Control de obturadores Cs y Co.
- Aplicación LabView para posicionar el carro y cámaras WiFi.
- Electrómetro PTW UNIDOS.
- Barómetro de precisión analógico.
- Termómetro digital
- PCs para almacenamiento y control.
- Unidad de control del Pantak X-ray.
- Detector Gieger (Ludlum).



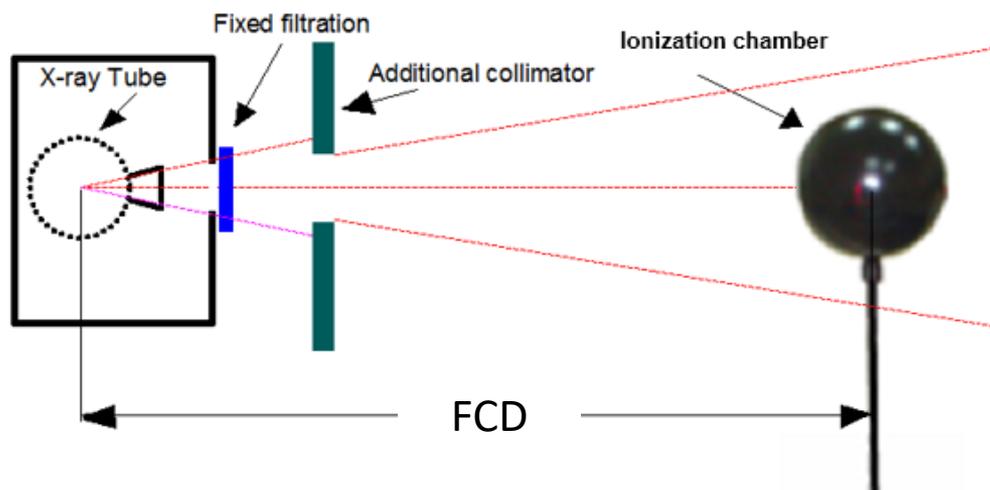
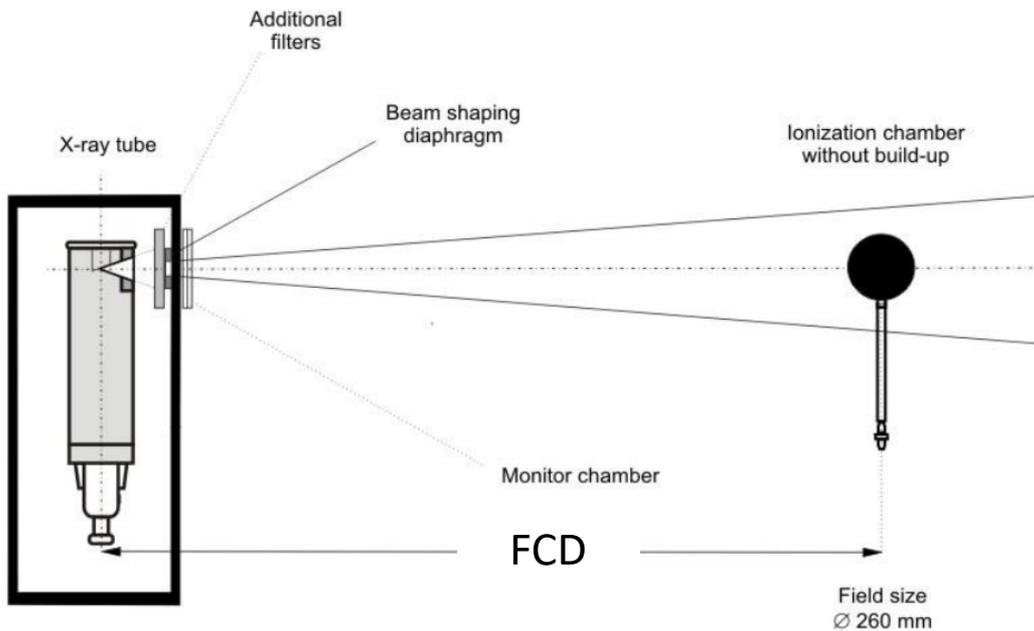
Determinación de la Tasa de Kerma en aire

^{137}Cs and ^{60}Co gamma radiation



Determinación de la Tasa de Kerma en aire

X ray beams



Determinación de la Tasa de Kerma en aire

- Como vimos, para calcular la **Dosis Equivalente** se debe determinar la Kerma en aire para la calidad empleada:

$$H = h_K * K_a$$

- En el laboratorio lo que se mide es la **Tasa de Kerma en aire** para la calidad de radiación empleada:

$$\dot{K}_a = \frac{K_a}{\Delta t} = \frac{Q_{ref} \cdot k_{TP}}{\Delta t} \cdot N_{K,ref}^{Qual}$$

$N_{K,ref}^{Qual}$ Coeficiente de calibración del sistema de referencia (electrómetro-cámara de ionización) para Kerma en aire, determinado a la calidad *Qual* {L, N, W, H, S-Cs, S-Co, R-C, R-F}. **(mGy/nC)**

Q_{ref} Valor de la carga acumulada en el instrumento de referencia (electrómetro). **(nC)**

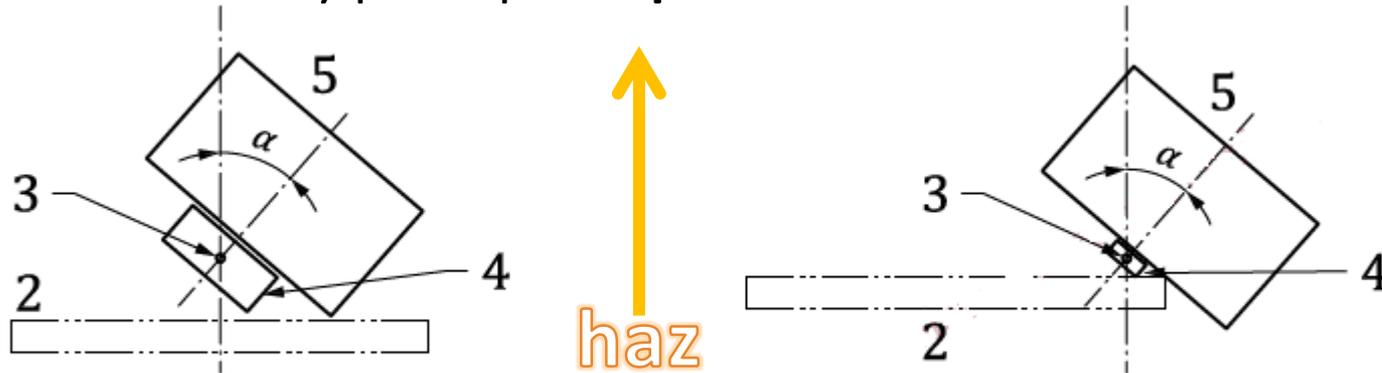
Δt Intervalo de tiempo durante el cual se integra la carga en el electrómetro. **(s)**

k_{TP} Factor de corrección por temperatura T y presión P. (escalar)

h_K Factor de conversión de Kerma en aire a Dosis equivalente para la calidad *Qual*. **(Sv.Gy⁻¹)**

ISO 4037 (2019) Montaje dosímetro / fantoma

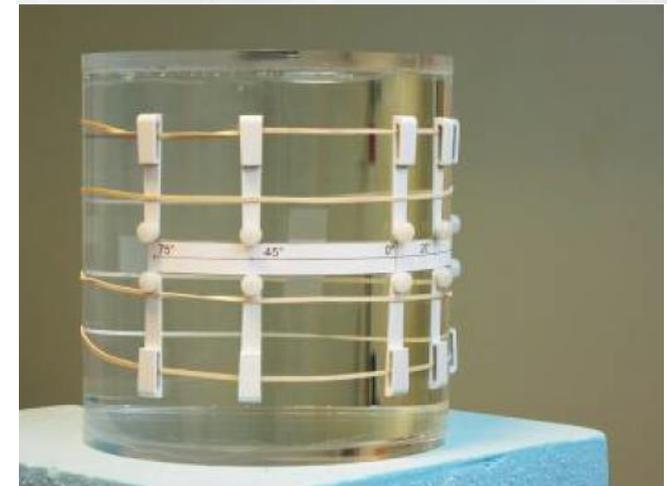
- Para estudiar la dependencia angular, los **ejes de rotación** deben ser **perpendiculares** y pasar por el **punto de referencia**.



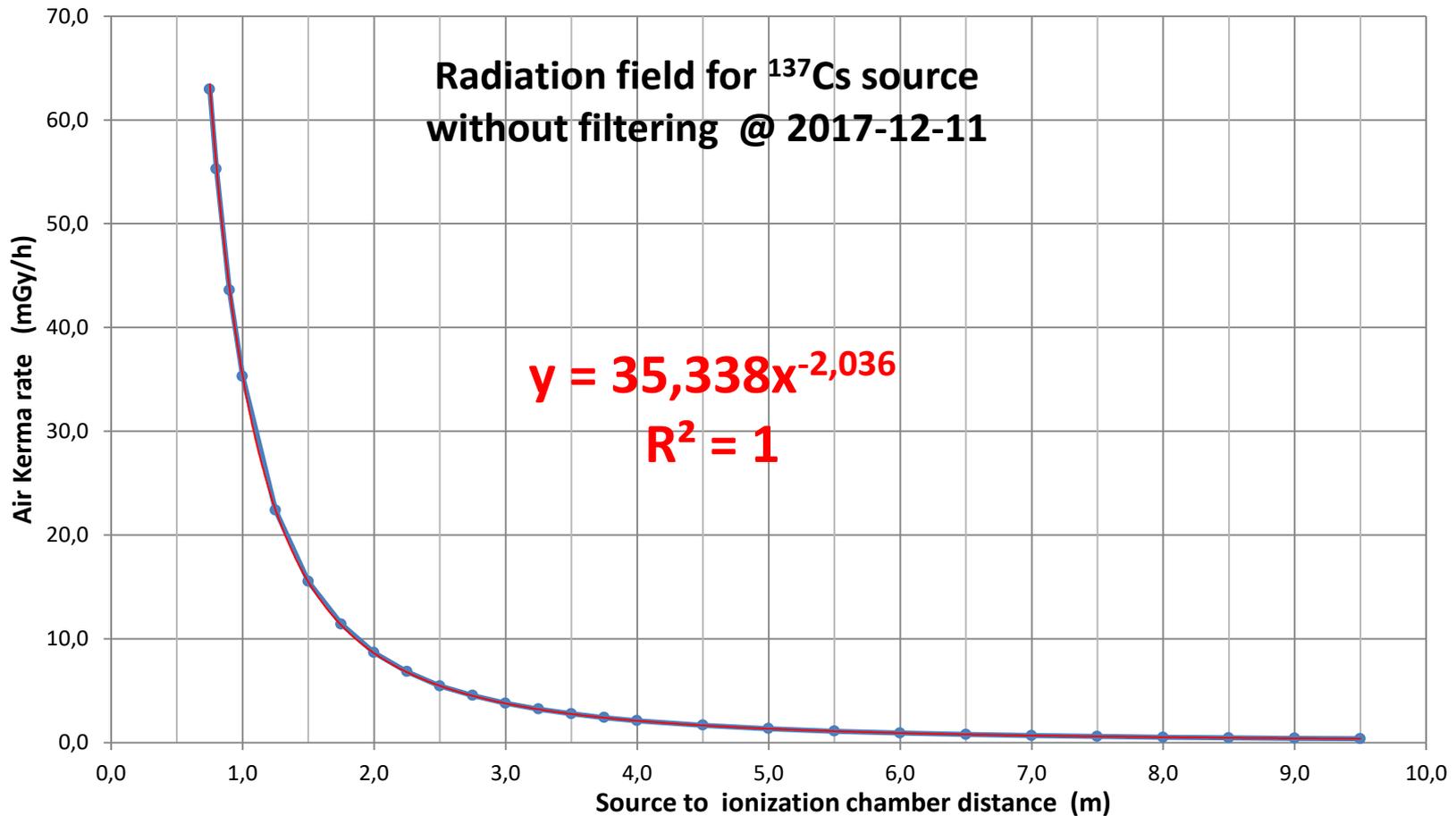
- Para **todas** las magnitudes $H(d)$ y para **rayos X** de $E < 250$ keV no se necesita build-up, sobretodo si se usa una cámara monitora (monitor chamber).
- Para **S-Cs** y fotones **hasta 9 MeV** se mide K_a en el **punto 3**. Luego el punto de referencia del dosímetro se ubica en 3 y se coloca una placa de PMMA para asegurar la acumulación completa frente al dosímetro (de área) o en frente de la combinación de dosímetro y fantoma (para dosímetros personales). El espesor requerido se especifica en las Tablas de los coeficientes de conversión.
- En este caso se debe corregir el campo multiplicando por K_{PMMA} tabulado.

ISO 4037:3 (2019) Dosímetros personales

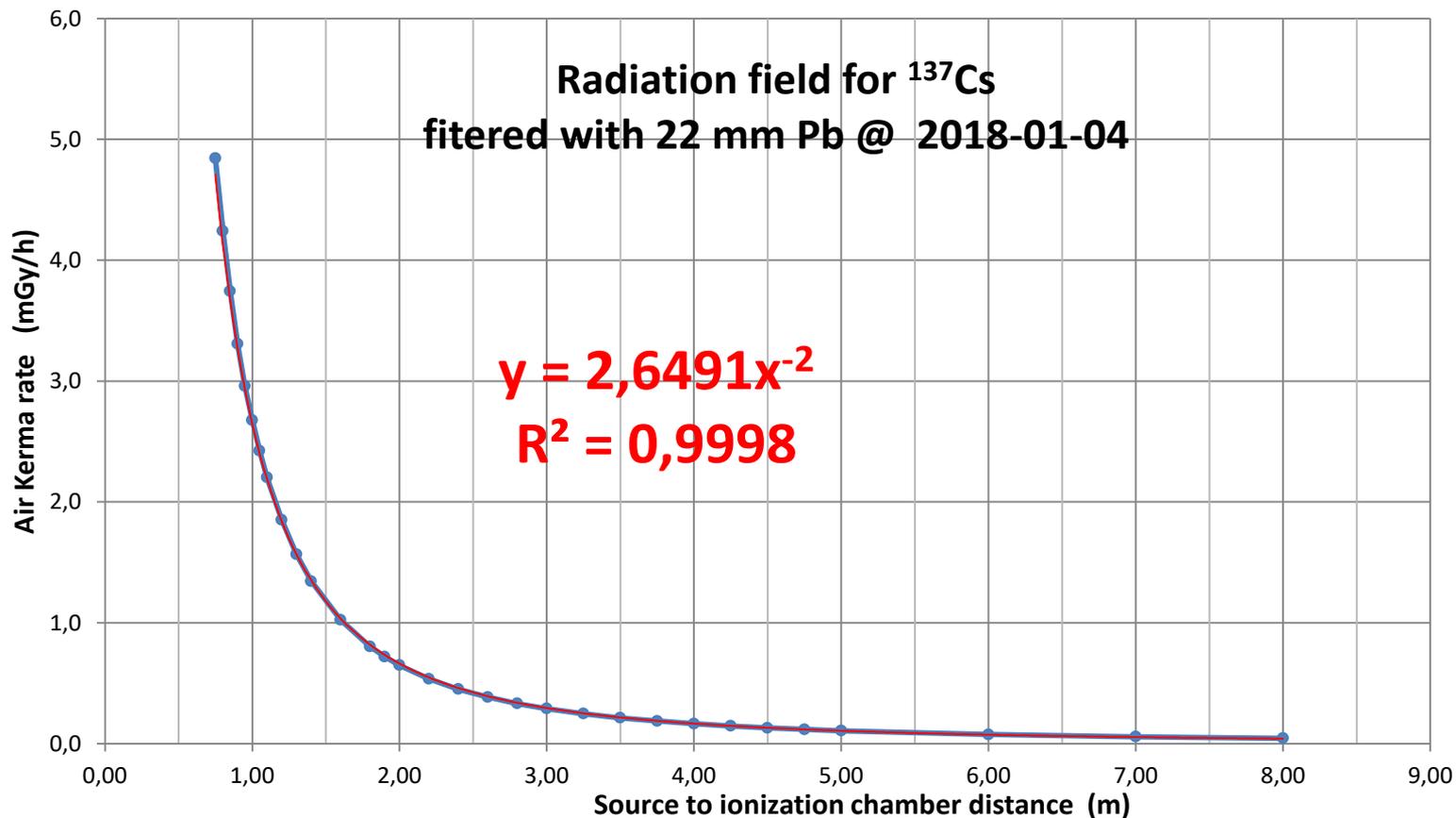
- Los dosímetros personales **deben irradiarse con el fantoma correspondiente.**
- Los coeficientes recomendados son $h_{pK}(d)$ para convertir kerma en aire a las magnitudes operativas $H_p(0,07)$, $H_p(3)$ y $H_p(10)$ definidas en fantomas de tejido ICRU.
- **Slab:** 30cm*30cm*15 cm en PMMA lleno de agua. Pared frontal de 2,5 mm de espesor y otras paredes de 10 mm (**cuerpo entero**). Al irradiar **varios dosímetros** deben estar en un círculo de diámetro d_F tabulado (98% isodosis).
- **Pillar:** 73 mm diam*19cm alto*2,5mm PMMA lleno de agua (**muñeca y tobillo**).
- **Rod:** PMMA macizo de 19mm diam*30 cm alto (**dedos**).
- **Cylinder:** 20 cm alto*20 cm diam* 5 mm lleno de agua, aún no incluido en ICRU (**ojos**).



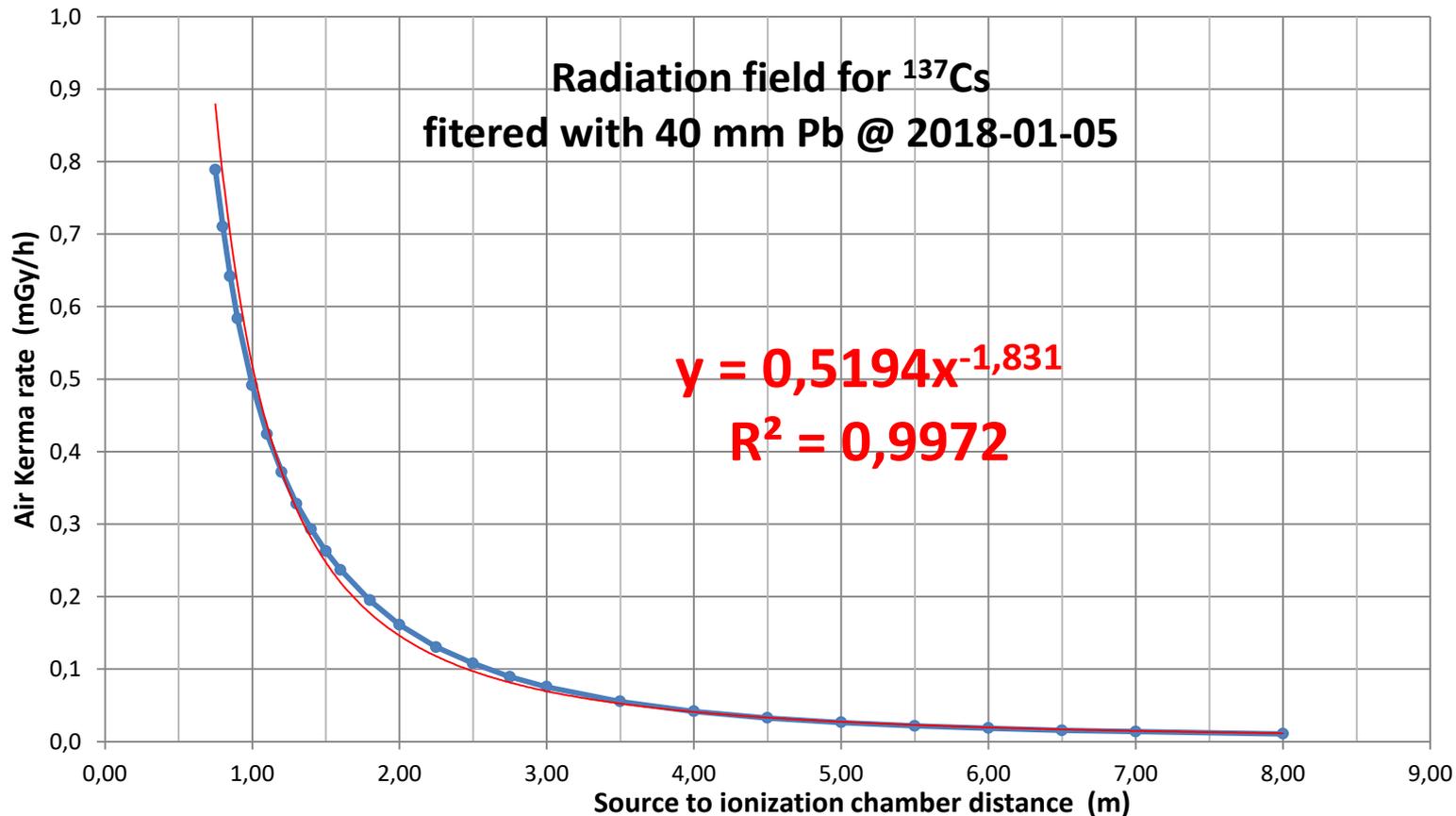
LSMRI-RP Tasa de Kerma en Aire para Cs-137 sin atenuar



LSMRI-RP Tasa de Kerma en Aire para Cs-137 atenuado 10 veces



LSMRI-RP Tasa de Kerma en Aire para Cs-137 atenuado 100 veces



LSMRI-RP Equipamiento

Radcal Corporation Electrometer 9015.

Radcal Ionization Chambers: 1800cc, 180cc, 60cc & 6cc.

Farmer Ionization Chambers: 600cc, 35cc & 0,6 cc.

Electrometers PTW UNIDOS.

PTW Ionization Chambers W30004 & W30010.

Electrometer Max-4000.

Standard Imaging HDR 1000 Plus well chamber.

Plane sources: Tc-99, Sr-90, Cs-137, Co-60 & C-14.



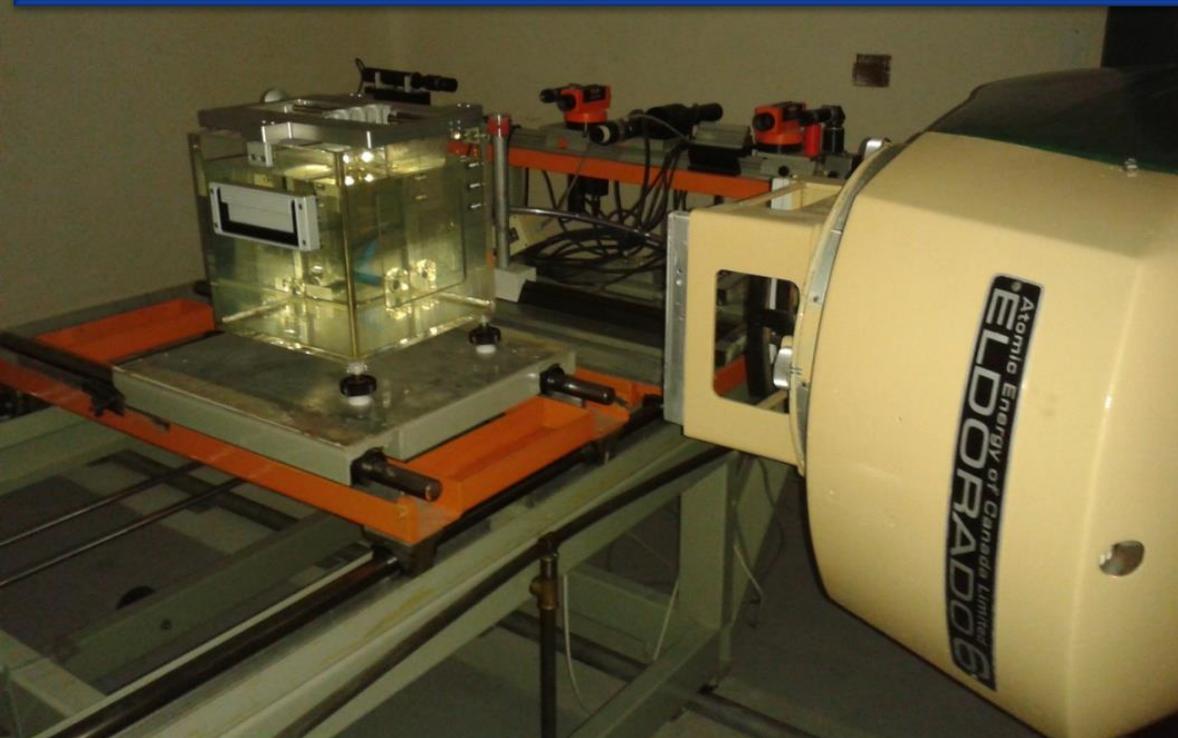
LSMRI-RT Radioterapia

Fuente: Co-60 6032 Ci @ 22/02/2013 en
cabezal El Dorado 6, con campo y posición
ajustable.

Banco óptico motorizado con laser y
telescopio.



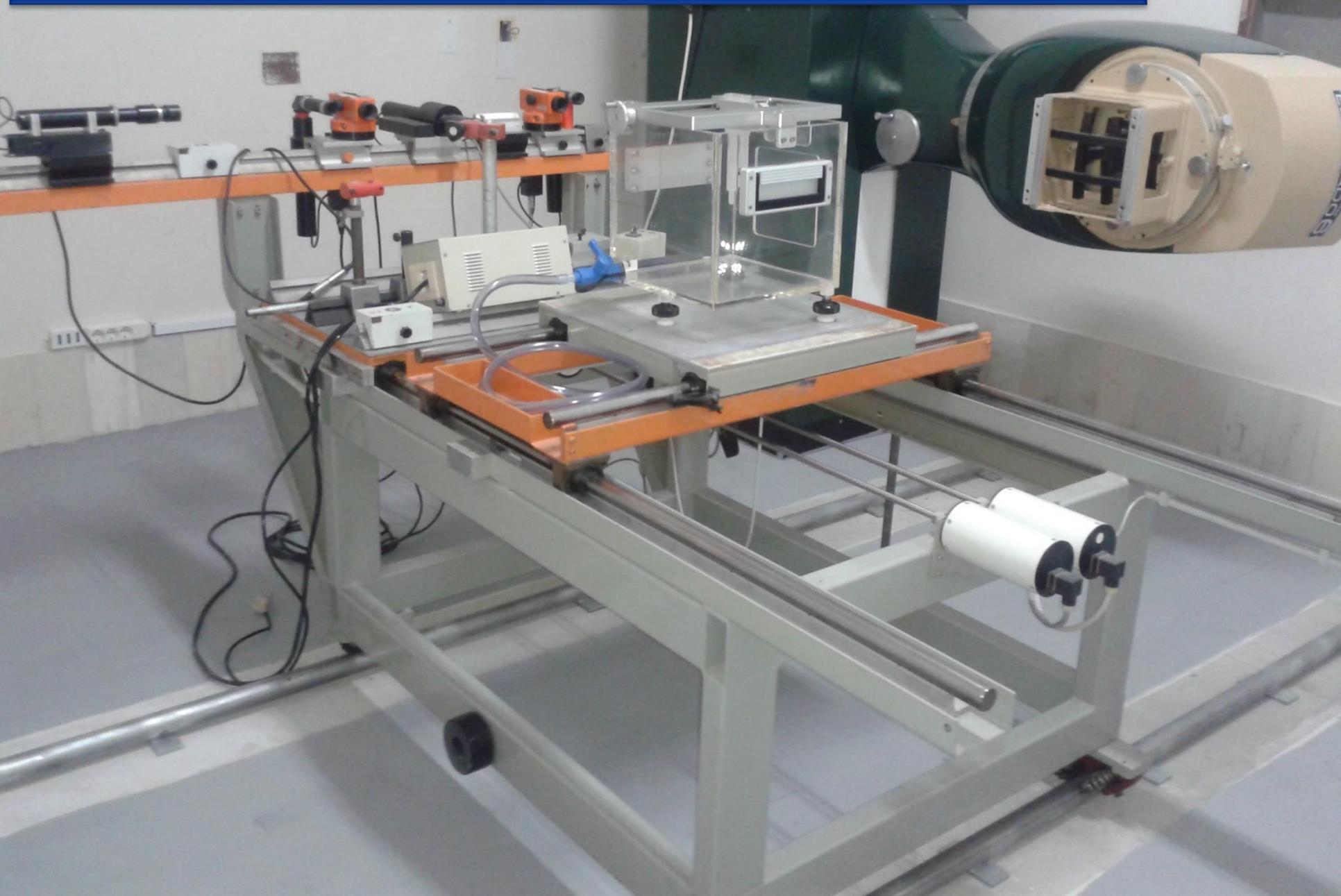
LSMRI-RT Radioterapia



- 1 PTW 41023 water phantom for horizontal beam, with 3 chamber inserts.
- 2 PTW Unidos electrometers.
- 5 PTW 30010 (30001) ionization chambers.
- 1 mercury thermometer (0,2 °C) and 1 DATUM digital barometer.
- 1 Fluke air temperature and digital barometer.
- 2 laser patient positioning systems.
- Protocols: IAEA Tecdoc-1151 & Tecdoc-398.



LSMRI-RT Radioterapia



LSMRI-RT Radioterapia

- Usamos un **X-ray Fuji IP Cassette CC** y el lector del Hospital.
- 35.4 cm x 43.0 cm (14x17") en ^{60}Co para ver perfil del campo.
- Lector da un archivo DICOM, leído con un código Matlab que escribimos.
- Verificamos resolución espacial con moneda.



```
% Autor: MSc. Guillermo BALAY guillermo.balay@miem.gub.uy 6-2016
% Caracterización del haz EL DORADO 6, Co-60 con Fuji cassette y DICOM
% Fujifilm FCR IP Cassette Type CC de 35.4 cm x 43.0 cm (14x17")
*****
```

```
close all
Y = dicomread('C:\LSMRI\HCRadioterapia\Co60-09062016B.DCM');
% Y tiene 4280x3520 elementos
ancho=281; % 366-85 pixeles de ancho de moneda de $10 que mide 2.8 cm
x=(0:35.4/3520 :35.4);
x=x(1:3520);
y=(0: 43.0/4280 :43.0);y=y(1:4280);
```

```
B=rot90(Y,-1);
figure(1), imagesc(Y), colorbar
title('Campo a 1m de Co-60 LSMRI-RT usando Fuji FCR IP Cassette CC
(lectora)'); % nuestro campo a la mitad del area 10x10
xlabel('pixels')
ylabel('pixels')
pause
```

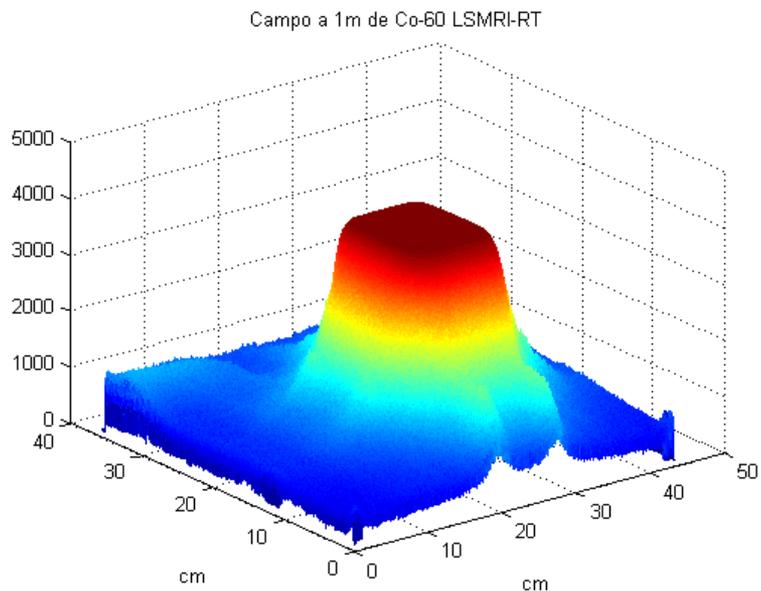
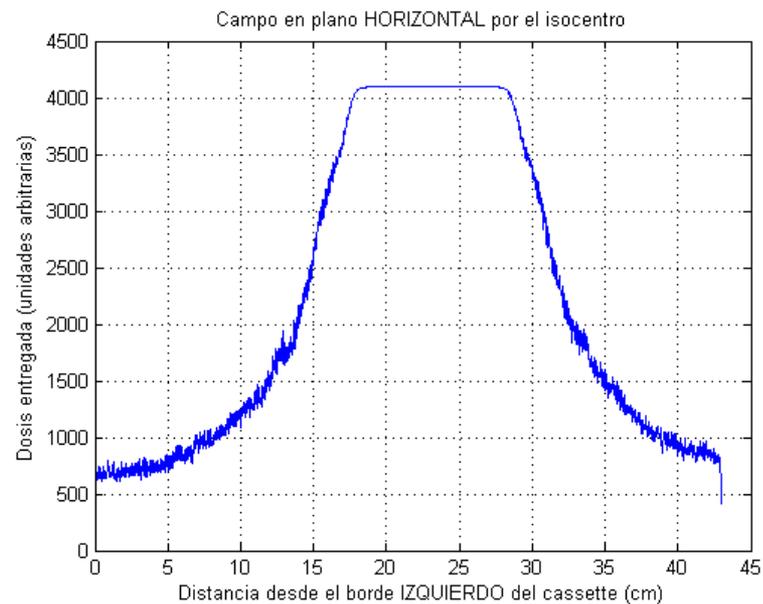
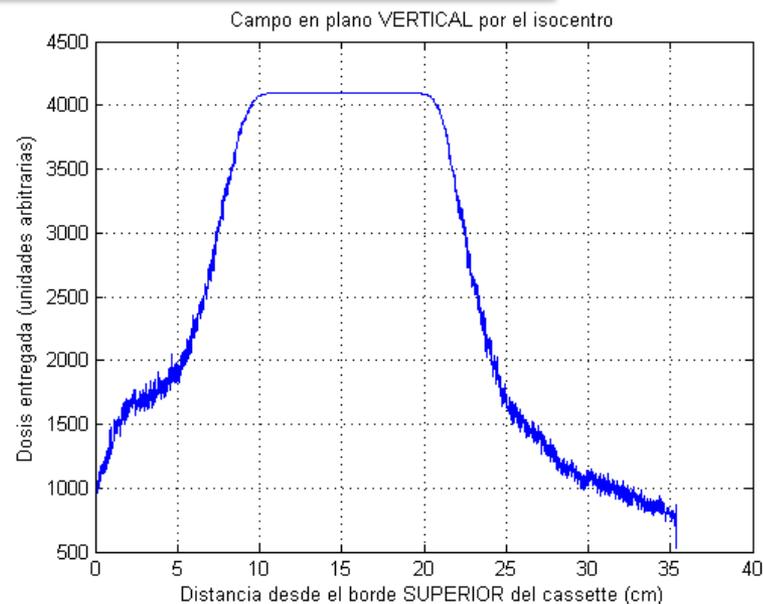
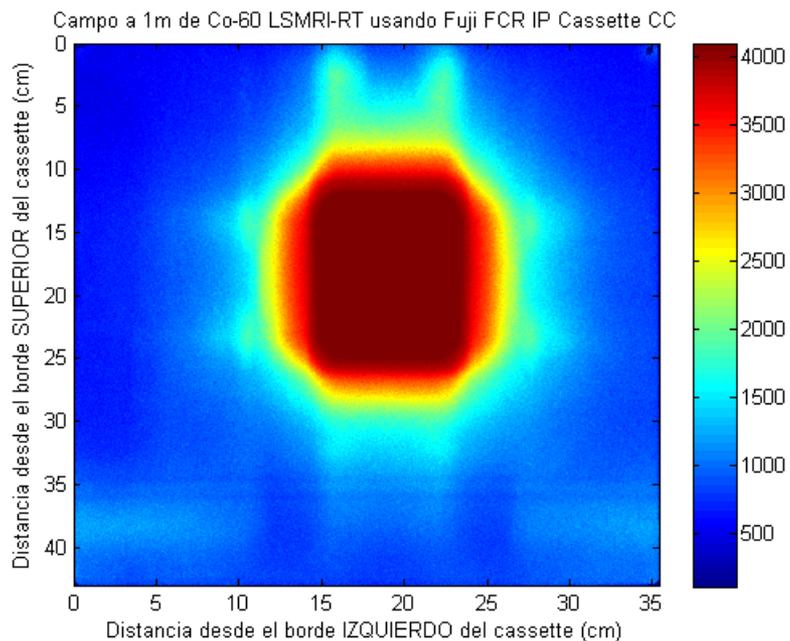
```
figure(2), imagesc(x,y,B), colorbar
title('Campo a 1m de Co-60 LSMRI-RT usando Fuji FCR IP Cassette CC')
xlabel('Distancia desde el borde IZQUIERDO del cassette (cm)')
ylabel('Distancia desde el borde SUPERIOR del cassette (cm)')
pause
```

```
m=1000;
n=1600;
figure(3), imagesc(x(m:n),y(m:n),B(m:n,m:n)),colorbar
title('Detalle de moneda $10 en campo 20x20cm a 1m de Co-60 LSMRI-RT');
pause
```

```
figure(4), plot(x(1:3520),B(1:3520,2040)), grid,
title('Campo en plano VERTICAL por el isocentro'); % nuestro campo a la
mitad del area 10x10
xlabel('Distancia desde el borde SUPERIOR del cassette (cm)')
ylabel('Dosis entregada (unidades arbitrarias)')
Pause
```

.....Otras instrucciones similares...

LSMRI-RT Radioterapia



LSMRI-RT Radioterapia

- Ni la **tasa de dosis absorbida en agua** ni la **tasa de Kerma en aire** reciben influencia de la **incertidumbre del temporizador** ya que la fuente está abierta y quieta al medirla.
- En las **intercomparaciones** postales de la **red OIEA/OMS de SSDLs**, donde se deben entregar **dosis precisas** a RPLDs u OSLDs, debemos considerar el movimiento de la fuente que genera irradiación parcial en su trayecto.
- Cuanto más intensa la fuente menor es el tiempo de **exposición** y más se aproxima al **tiempo de tránsito** de la fuente.
- En 2008, el **Journal Fizik Malaysia** publicó un trabajo **“The determination of timer error and its role in the administration of specified doses”** de **S.B. Samat et al** (SSDL Malaysia & School of Health Science, Univ. of Wales Swansea UK) con un método aplicado al AECL EL DORADO 8 unit.
- Seguimos este método y caracterizamos nuestra unidad EL DORADO 6 antes de irradiar los dosímetros postales, hallando la **tasa de dosis** y el **error en el timer** de una sola vez !
- Usando estos datos **calculamos** el tiempo a fijar en **nuestro timer** para irradiar la **dosis requerida** en el test.



LSMRI-RT Radioterapia

Start time:	10:15																
MIEM LSMRI EL DORADO 6 Timer setting (s)	Integrated charge measurements M (nC)					$M_{average}$	P (mbar)	T (°C)	$K_{T,p}$	$M * K_{T,p}$ (nC)	Electrometer elapsed time (s)	Shutter closing time (s)	RH %				
20	2,319	2,333	2,313	2,317	2,317	2,320	1015,0	19,4	0,996	2,31	22,5	2,5	45				
30	3,587	3,570	3,567	3,571	3,570	3,573	1014,7	19,4	0,996	3,56	32,0	2	52				
40	4,867	4,864	4,854	4,844	4,845	4,855	1014,6	19,4	0,997	4,84	42,5	2,5	50				
60	7,358	7,355	7,358	7,362	7,361	7,359	1014,5	19,4	0,997	7,33	62,5	2,5	50				
80	9,903	9,906	9,881	9,915	9,874	9,896	1014,4	19,1	0,996	9,85	82,5	2,5	48				
100	12,39	12,37	12,37	12,37	12,39	12,378	1014,4	19,1	0,996	12,33	102,5	2,5	48				
120	14,87	14,89	14,88	14,89	14,90	14,886	1014,1	19,1	0,996	14,83	122,5	2,5	48				
180	22,43	22,42	22,44	22,43	22,44	22,432	1013,9	19,1	0,996	22,35	182,5	2,5	48				
End time:	12:37																

$y = m x + n$ x=timer setting

Charge rate m (nC/s)= 0,1252

Interception n (nC)= -0,1819

Charge rate (nC/min)= 7,5098

Timer error -n/m (s)= **1,453** **0,492%**

Gy/min= 0,4066

Gy/s= 0,0068

$D_w(z_{ref}) = M N_{D,w}$

Needed dose at z_{ref} (Gy)= 2,0

Needed irradiation time (s)= 295,1

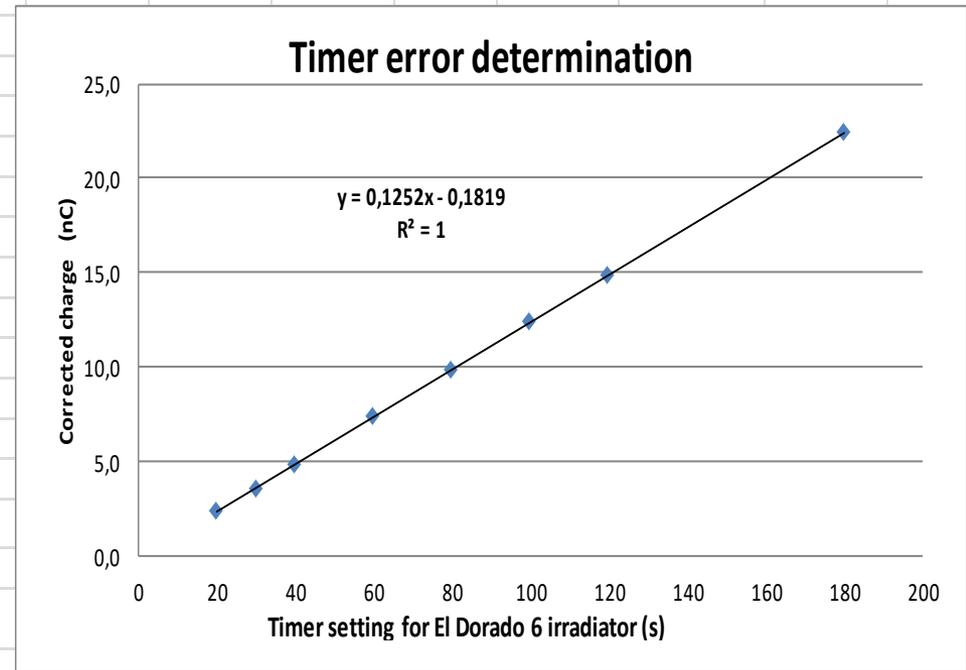
Needed Timer setting (error corrected) (s)= **296,6**

0:04:57

236,6

0:03:57

1,603282643



Primera auditoría en Radioterapia (Set/2017):



RESTRICTED

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

Dosimetry and Medical Radiation Physics Section - Division of Human Health
Vienna International Centre, P.O. Box 100, A-1400 VIENNA, AUSTRIA
Fax: +43 1 2600781662, Telephone: +43 1 2600-28207 or 28331, e-mail: DOSIMETRY@IAEA.ORG

IAEA/WHO POSTAL DOSE QUALITY AUDIT

Institution: *Laboratorio Secundario de Metrología de las Radiaciones Ionizantes*
, Departamento de Tecnogestión,
Dirección General de Secretaría (DGS)
Ministerio Industria Energía y Minería (MIEM)

Address: *Hervidero 2861*
Montevideo

Country: *Uruguay*

RPLD batch No: *DL17*
RPLDs irradiated by: *Balay, Suarez*
Date of irradiation: *2017-05-24*
Evaluation: *2017-09-06*

RESULTS OF RPLD MEASUREMENTS FOR Co-60 AND HIGH-ENERGY PHOTONS

Beam	Radiation unit	Set #	User stated dose [Gy]	IAEA (measured) dose [Gy]*	IAEA mean dose [Gy]	% deviation relative to IAEA mean dose**	IAEA mean dose / User stated dose
Co-60	<i>Eldorado 6</i> <i>Theratronics, Best</i> <i>(former MDS</i> <i>Nordion, AECL)</i> <i>INVAF (Source)</i>	<i>DL1733</i>	<i>1.59</i>	<i>1.59</i>	<i>1.73</i>	<i>-0.1</i>	<i>1.00</i>
			<i>1.59</i>	<i>1.59</i>			
			<i>2.00</i>	<i>2.01</i>			

Agreement within $\pm 3.5\%$ between the user stated dose and the IAEA measured dose is considered satisfactory.

** % deviation relative to IAEA measured dose = $100 \times (\text{User stated dose} - \text{IAEA mean measured dose}) / \text{IAEA mean measured dose}$. A relative deviation with negative (positive) sign indicates that the user estimates lower (higher) dose than what is measured.

* The uncertainty in the RPLD measurement of the dose is 1.5% (1 standard deviation); this does not include the uncertainty intrinsic to the dosimetry protocol (see IAEA TRS-398).

For

J. Izewska, Ph.D.
Head - Dosimetry Laboratory

Date: 2017-09-07

H. Delis, Ph.D.
Acting Head - DMRP Section

IMPORTANT NOTICE: This information is provided only as an independent verification of beam output and not as a machine calibration, nor as an alternative to frequent calibrations by a qualified physicist.

Segunda auditoría en Radioterapia (Jul/2018):



RESTRICTED

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

Dosimetry and Medical Radiation Physics Section - Division of Human Health

Vienna International Centre, P.O. Box 100, A-1400 VIENNA, AUSTRIA

Fax: +43 1 2600781662, Telephone: +43 1 2600-28207 or 28331, e-mail: DOSIMETRY@IAEA.ORG

IAEA/WHO POSTAL DOSE QUALITY AUDIT

Institution: *Laboratorio Secundario de Metrología de las Radiaciones Ionizantes*
Departamento de Tecnogestión
Dirección General de Secretaría (DGS)
Ministerio Industria Energía y Minería (MIEM)

Address: *Hervidero 2861*
Montevideo

Country: *Uruguay*

RPLD batch No: *DL18*

RPLDs irradiated by: *Balay*

Date of irradiation: *2018-06-15*

Evaluation: *2018-07-25*

RESULTS OF RPLD MEASUREMENTS FOR Co-60 AND HIGH-ENERGY PHOTONS

Beam	Radiation unit	Set #	User stated dose [Gy]	IAEA (measured) dose [Gy]*	IAEA mean dose [Gy]	% deviation relative to IAEA mean dose**	IAEA mean dose / User stated dose
Co-60	<i>Eldorado 6 Best</i>	<i>DL1835</i>	<i>2.00</i>	<i>1.99</i>	<i>1.99</i>	<i>0.3</i>	<i>1.00</i>
	<i>Theratronics (MDS)</i>		<i>2.00</i>	<i>1.99</i>			
	<i>Nordion, AECL</i> <i>INVAP (Source)</i>		<i>2.00</i>	<i>2.00</i>			

Agreement within +/-3.5% between the user stated dose and the IAEA measured dose is considered satisfactory.

** % deviation relative to IAEA measured dose = 100 x (User stated dose - IAEA mean measured dose) / IAEA mean measured dose. A relative deviation with negative (positive) sign indicates that the user estimates lower (higher) dose than what is measured.

* The uncertainty in the RPLD measurement of the dose is 1.5% (1 standard deviation); this does not include the uncertainty intrinsic to the dosimetry protocol (see IAEA TRS-398).

J. Izewska, Ph.D.
Head - Dosimetry Laboratory

Date: 2018-07-26

D. van der Merwe, Ph.D.
Head - DMRP Section

IMPORTANT NOTICE: This information is provided only as an independent verification of beam output and not as a machine calibration, nor as an alternative to frequent calibrations by a qualified physicist.

Tercera auditoría en Radioterapia (Ago/2019):



RESTRICTED

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

Dosimetry and Medical Radiation Physics Section - Division of Human Health

Vienna International Centre, P.O. Box 100, A-1400 VIENNA, AUSTRIA

Fax: +43 1 2600781662, Telephone: +43 1 2600-28207 or 28331, e-mail: DOSIMETRY@IAEA.ORG

IAEA/WHO POSTAL DOSE QUALITY AUDIT

Institution: *Laboratorio Secundario de Metrología de las Radiaciones Ionizantes
Departamento de Tecnogestión
Dirección General de Secretaría (DGS)
Ministerio Industria Energía y Minería (MIEM)*

Address: *Hervidero 2861
Montevideo*

Country: *Uruguay*

RPLD batch No: *DL19*
RPLDs irradiated by: *Balay*
Date of irradiation: *2019-05-14*
Evaluation: *2019-08-06*

RESULTS OF RPLD MEASUREMENTS FOR Co-60 AND HIGH-ENERGY PHOTONS

Beam	Radiation unit	Set #	User stated dose [Gy]	IAEA (measured) dose [Gy]*	IAEA mean dose [Gy]	% deviation relative to IAEA mean dose**	IAEA mean dose / User stated dose
Co-60	<i>Eldorado 6 Best Theratronics (MDS Nordion, AECL) INVAP (Source)</i>	<i>DL1936</i>	<i>2.00 2.00 2.00</i>	<i>1.97 2.01 1.95</i>	<i>1.98</i>	<i>1.1</i>	<i>0.99</i>

Agreement within +/-3.5% between the user stated dose and the IAEA measured dose is considered satisfactory.

** % deviation relative to IAEA measured dose = 100 x (User stated dose - IAEA mean measured dose) / IAEA mean measured dose. A relative deviation with negative (positive) sign indicates that the user estimates lower (higher) dose than what is measured.

* The uncertainty in the RPLD measurement of the dose is 1.5% (1 standard deviation); this does not include the uncertainty intrinsic to the dosimetry protocol (see IAEA TRS-398).

T. Bokulic, Ph.D.
Acting Head-Dosimetry

Date: 2019-08-07

D. van der Merwe, Ph.D.
Head - DMRP Section

IMPORTANT NOTICE: This information is provided only as an independent verification of beam output and not as a machine calibration, nor as an alternative to frequent calibrations by a qualified physicist.

Auditoría en Radioprotección (Oct/2017):



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

Dosimetry and Medical Radiation Physics Section - Division of Human Health

Vienna International Centre, P.O. Box 100, A-1400 VIENNA, AUSTRIA

Fax: +43 1 26007-21662, Telephone: +43 1 2600-28331 or 28351, e-mail: DOSIMETRY@IAEA.ORG

RESTRICTED

IAEA OSLD POSTAL QUALITY AUDIT FOR RADIATION PROTECTION CALIBRATIONS, FOR SSDLs

Institution: *Laboratorio Secundario de Metrología de las Radiaciones Ionizantes
Departamento de Tecnogestión
Dirección General de Secretarías (DGS)
Ministerio Industria Energía y Minería (MIEM)*

Address: *Hervidero 2861
Montevideo*

Country: *Uruguay*

OSLD batch No: *RP17*
OSLDs irradiated by: *Balay*
Date of irradiation: *2017-05-23*
Date of evaluation: *2017-10-09*

RESULTS OF OSLD AIR KERMA MEASUREMENTS FOR Cs-137

Radiation unit	Beam	OSLD set #	User (stated) air kerma [mGy]	IAEA (measured) air kerma [mGy]*	IAEA mean air kerma [mGy]	% deviation relative to IAEA mean air kerma**	<u>IAEA mean air kerma</u> User stated air kerma
<i>AEA Technology (Amersham Buchler Braunschweig) OB-6 #943-30</i>	<i>Cs-137</i>	<i>RP1714</i>	<i>5.00 5.00</i>	<i>4.75 4.81</i>	<i>4.78</i>	<i>4.6</i>	<i>0.96</i>

* The relative combined standard uncertainty in the OSLD measurements of the air kerma is 1.5%.

** % deviation relative to IAEA mean air kerma = 100 x (User stated air kerma - IAEA mean air kerma) / IAEA mean air kerma. A relative deviation with negative (positive) sign indicates that the user estimates lower (higher) air kerma than what is measured.

Agreement within +/-7% between the user stated air kerma and the IAEA measured air kerma is considered satisfactory.

For

J. Izewska, Ph.D.

Head - Dosimetry Laboratory

H. Delis, Ph.D.

Acting Head - DMRP Section

Date: 2017-10-10

IMPORTANT NOTICE: This information is provided only as an independent verification of the output of the Cs-137 irradiation unit and not as a unit calibration.

1^{er} Ejercicio de Intercomparación OIEA (Latinoamérica y Caribe) en Dosis Personal Equivalente Hp(10) con Cs-137 (Ago/2018):

Country	Hp(10) - nominal = M _N	Uncertainty u%	Read result* = M _R	St dev. (s)	Rate M _R /M _N	E _n Score	Read result normalized to NPL
A	2	6	1.99	0.0468	0.9961	-0.0443	0.96
	4	6	4.05	0.0807	1.001	0.0156	0.98
B	2	10	1.98	0.0289	0.9917	-0,07	0.96
	4	10	3.84	0.0851	0.9609	-0,33518	0.94
C	2	6.8	2.059	0.0275	1.029	0,31017	1.00
	4	6.8	4.044	0.0550	1.008	0.0909	0.99
D	2	4.4	1.97	0.0316	0.9843	-0,19823	0.95
	4	4.4	3.83	0.1845	0.9579	-0,5654	0.94
E	2	4	2.06	0.0375	1.030	0,251261	1.00
	4	4	4.12	0.0255	1.031	0,266672	1.01
F	2	4	2.02	0.0501	1.009	0,109072	0.98
	4	4	4.08	0.0728	1.019	0,234751	1.00
G	1.58	2.12	1.60	0.0275	1.015	0.2118	0.98
	3.38	2.12	3.39	0.0275	1.003	0.0528	0.99
H	2	4.9	2.06	0.0187	1.028	0.3425	1.0
	4	4.9	4.19	0.0052	1.047	0.6115	1.03
I	2	2.14	2.07	0.0451	1.103	1.491	1.07
	3	2.14	6.68	0.0954	2.227	19	2.19
J	2.025	3.55	2.03	0.0375	1.003	0.0417	0.97
	4.053	3.55	4.04	0.0476	0.998	-0.0300	0.98
L	2	1.62	2.46	0.0156	1.227	3.35	1.19
	4	1.62	4.15	0.0512	1.036	0.5798	1.02
M	1.99	4.9	2.12	0.0194	1.066	0.8038	1.03
	3.97	4.49	4.29	0.0238	1.081	1.078	1.06
N	2	5	2.17	0.2561	1.084	1.017	1.05
	4	5	4.05	0.0312	1.013	0.1684	1.0
O	2	4.59	2.08	0.0624	1.042	0.5275	1.01
	4	4.59	4.15	0.0208	1.038	0.5030	1.02
P	2	5	2.02	0.0289	1.008	0.1050	0.98
	4	5	3.99	0.0260	0.999	-0.0078	0.98

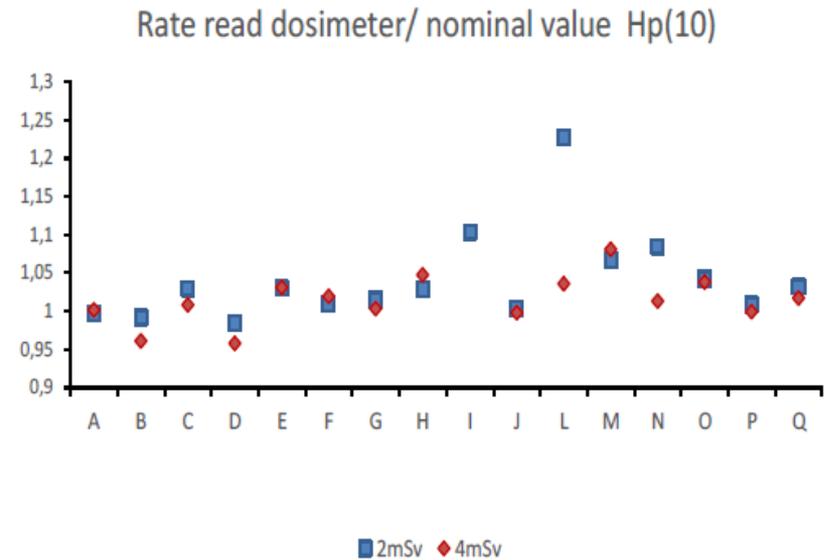


Figure 1- Rate values between the dosimeter read and the Hp(10) value informed by each laboratory

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{\text{lab}}^2 + U_{\text{ref}}^2}}$$

where

U_{lab} is the expanded uncertainty of a participant's result;

U_{ref} is the expanded uncertainty of the reference laboratory's assigned value.

for E_n numbers:

- $|E_n| \leq 1,0$ indicates "satisfactory" performance and generates no signal;
- $|E_n| > 1,0$ indicates "unsatisfactory" performance and generates an action signal.

Recomendaciones ICRP 118 para Cristalino (2012)

En base a los estudios vigentes analizados concluye:

- Hay evidencias de aparición de opacidades a niveles de dosis menores.
- Se presume un umbral de dosis más bajo, incluso nulo.
- El tiempo de latencia en exposiciones crónicas a bajas dosis puede ser muy largo.

Se recomienda:

- Considerar un umbral de dosis para formación de cataratas en 0.5 Gy e independiente de la tasa de dosis.
- **Nuevo límite en cristalino para trabajadores: 20 mSv/año**, promediados en 5 años, con un máximo anual de 50 mSv. (En USA el NCRP sigue manteniendo 150 mSv/año).
- Mantiene el límite en cristalino para el **público: 15 mSv/año**.

Convenio de colaboración entre el Instituto de Técnicas Energéticas de la Universidad Politécnica de Cataluña y el Laboratorio de Dosimetría Personal Externa del MIEM (oct. 2019)

$$R = \frac{H_M}{H_V} \quad [1]$$

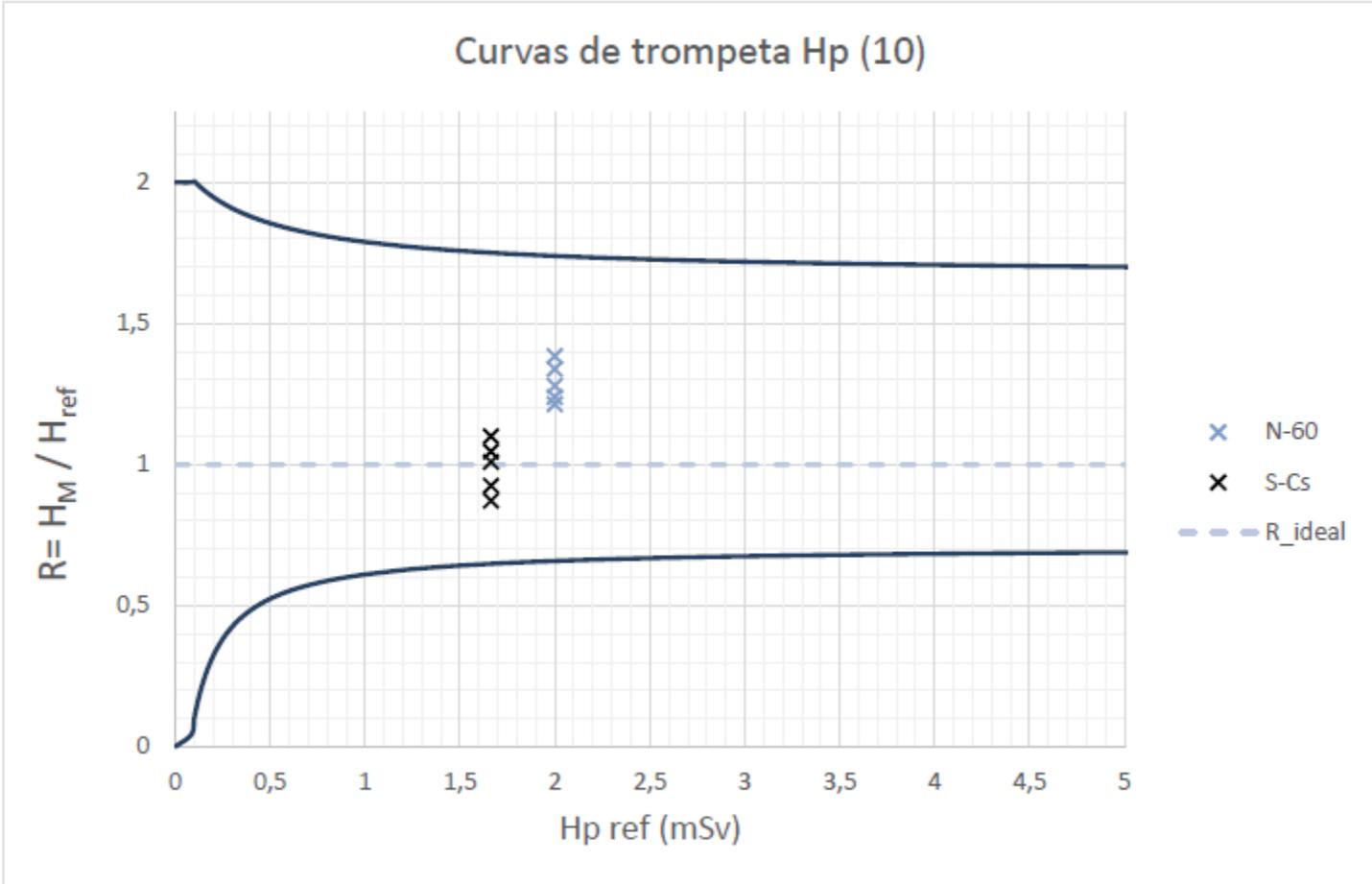
De manera general la norma ISO 14146 establece que el valor de R tendrá que satisfacer la siguiente expresión:

$$0.71 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot H_0 / 1.33}{H_0 / 1.33 + H_V}\right) \leq R \leq 1.67 \cdot \left(1 + \frac{H_0}{4 \cdot H_0 + H_V}\right) \quad [2]$$

H_0 representa el límite inferior de dosis equivalente personal, o nivel de registro. De acuerdo con la ISO 14146, es igual a 0.1 mSv para $H_p(10)$ y a 1 mSv para $H_p(0.07)$. Si el parámetro R es igual a 1, la respuesta del dosímetro es óptima porque el valor medido iguala el valor de referencia. La representación gráfica de los límites establecidos para R, en función de los valores de dosis de referencia H_V , se denomina curva (o curvas) de trompeta.

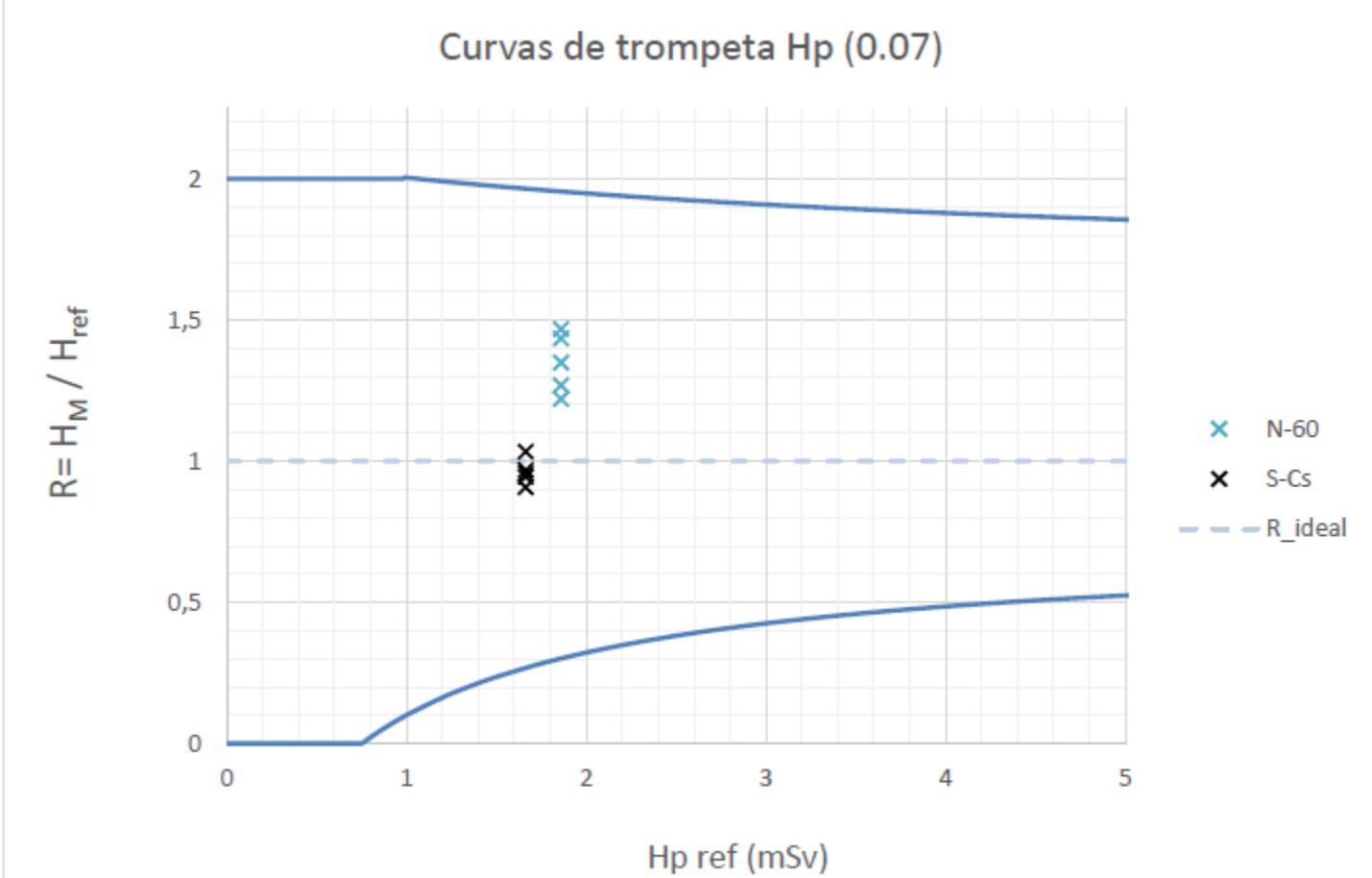
La norma ISO 14146 establece como tolerancia que un máximo del 10 % de las lecturas de un conjunto de dosímetros se encuentre fuera de los límites indicados por dichas curvas.

Figura 2: Curvas trompeta del centro para $H_p(10)$ ($H_0 = 0.1$ mSv)



Convenio de colaboración entre el Instituto de Técnicas Energéticas de la Universidad Politécnica de Cataluña y el Laboratorio de Dosimetría Personal Externa del MIEM (oct. 2019)

Figura 3: Curvas trompeta del centro para $H_p(0.07)$ ($H_o = 1$ mSv)



LSMRI- Capacidades de Calibración

- Radioprotection calibrations traceable to IAEA @ k=2 coverage. (30/year)
Calibration in mR/h or $\mu\text{Sv/h}$ of portable dose rate detectors in **air Kerma** using the fields:
 - ^{137}Cs air Kerma rates (low, medium, high rates)
2-10 $\mu\text{Gy/h} \pm 3.0\%$ 10-900 $\mu\text{Gy/h} \pm 0.8\%$ 1-63 $\text{mGy/h} \pm 0.8\%$
 - ^{60}Co air Kerma rates (low, medium rates)
3-10 $\mu\text{Gy/h} \pm 6.5\%$ 10-120 $\mu\text{Gy/h} \pm 0.8\%$
 - X-Ray ISO 4037:1 Narrow series air Kerma rates (mGy/h at 2 m):

Date	N40	N60	N80
07/2012	26.476	23.804	11.487
12/2013	26.011	24.145	13.717
12/2014	26.079	23.851	13.869
04/2015	26.050	23.498	13.340
01/2017	25.580	23.560	13.744
- Film and TLD irradiation. For external dosimetry customers and internal dosimetry laboratory (12/year). Traceable to IAEA.
- Blind tests for external dosimetry customers and internal dosimetry laboratory (10/year). Traceable to IAEA.
- ^{60}Co irradiation of blood samples for biological damage and radiosensibility assessment research project .

LSMRI Lab. de Instrumentación Nuclear



Equipamiento

- Mesas de trabajo
- Osciloscopios digitales
- Multímetros
- Generador de funciones
- Contador de frecuencia
- Fuentes regulables DC
- Estación de rework PACE
- Generador de señales
- Generador de pulsos
- Medidor RCL
- Fuente de corriente pA
- Mini-taladro
- Morsas regulables
- Punta reductora de HV
- Medidor de fases
- Pinza amperimétrica
- Medidor de aislación
- Herramientas varias.

Gracias y a sus órdenes !

Mag.Fís. Guillermo Balay

Responsable del LSMRI

guillermo.balay@miem.gub.uy

Q.F. Noelia Pagliaro

Técnico de Metrología

calibraciones@miem.gub.uy



Albert Einstein y Carlos Vaz Ferreira conversando en 1925 en la Pza. de los Treinta y Tres Orientales. Montevideo URUGUAY

