

Grupo de Usuarios de Laboratorios de Patrones Neutrónicos del CEIDEN
Sevilla, 08 de junio de 2022

DOSIMETRÍA PERSONAL NEUTRÓNICA

Proyecto DOPEN

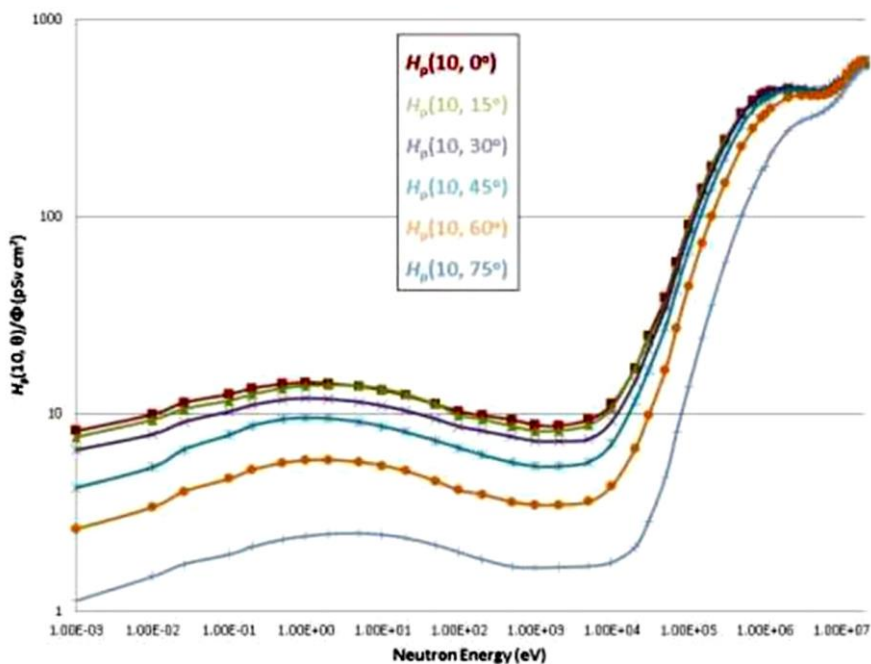
Ana M^a Romero Gutiérrez
CIEMAT – Dosimetría de Radiaciones
ana.romero@ciemat.es

Origen de las dificultades

- La respuesta de los dosímetros de neutrones depende de:
 - El espectro energético de los n en el lugar de trabajo
 - El ángulo de incidencia de los n sobre el dosímetro



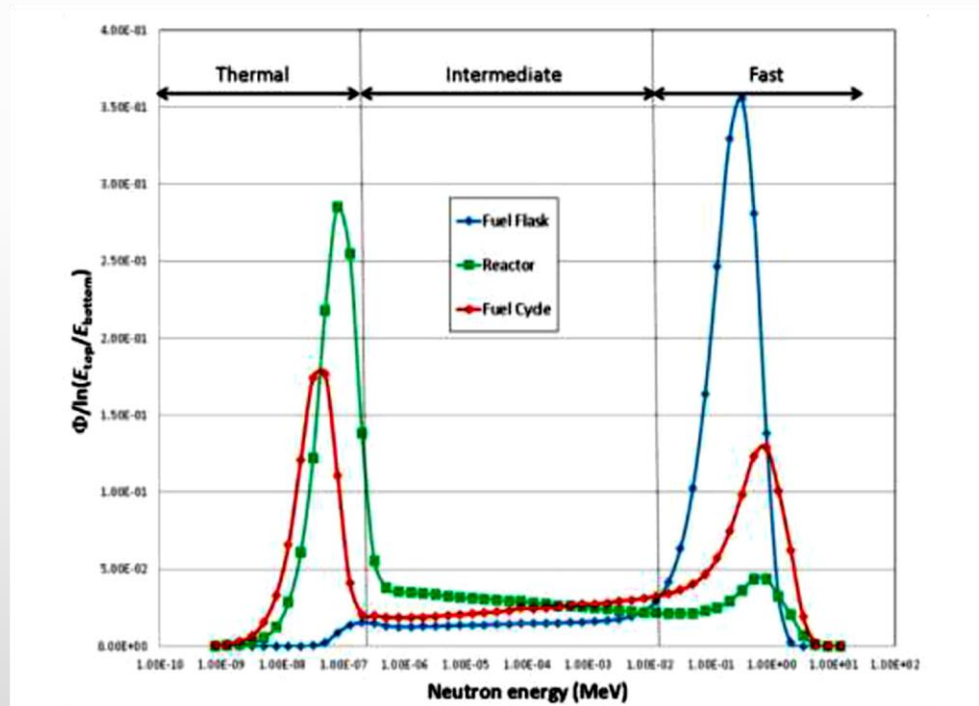
Grandes Incertidumbres



- Coef. de conversión de fluencia a dosis
 - ~ 60 en el rango $10 \text{ keV} < E_n < 20 \text{ MeV}$
 - ~ 10 de $0^\circ - 75^\circ$ para $E_n < 10 \text{ keV}$
- Campos mixtos: neutrón + gamma
- Dosímetro personal: peso y tamaño reducidos

Origen de las dificultades

- Espectro típico de un lugar de trabajo:
 - Pico termalizado: $E_n < 0,4 \text{ eV}$
 - Componente intermedio: $E_n : 0,4 \text{ keV} < E_n < 10 \text{ keV}$
 - Distribución de n rápidos: $E_n > 10 \text{ keV}$



Distribuciones de energía en el lugar de trabajo medidas en un reactor de investigación, una planta de fabricación de combustible y cerca de contenedores de combustible

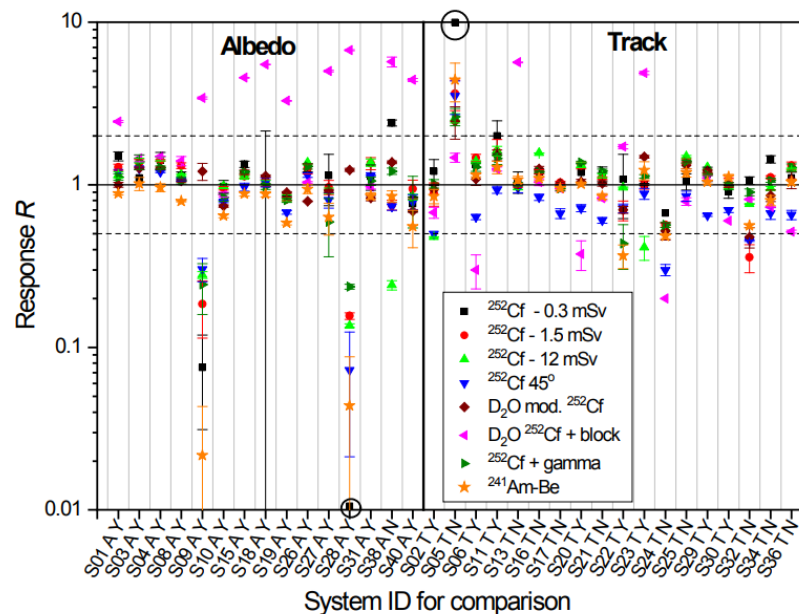
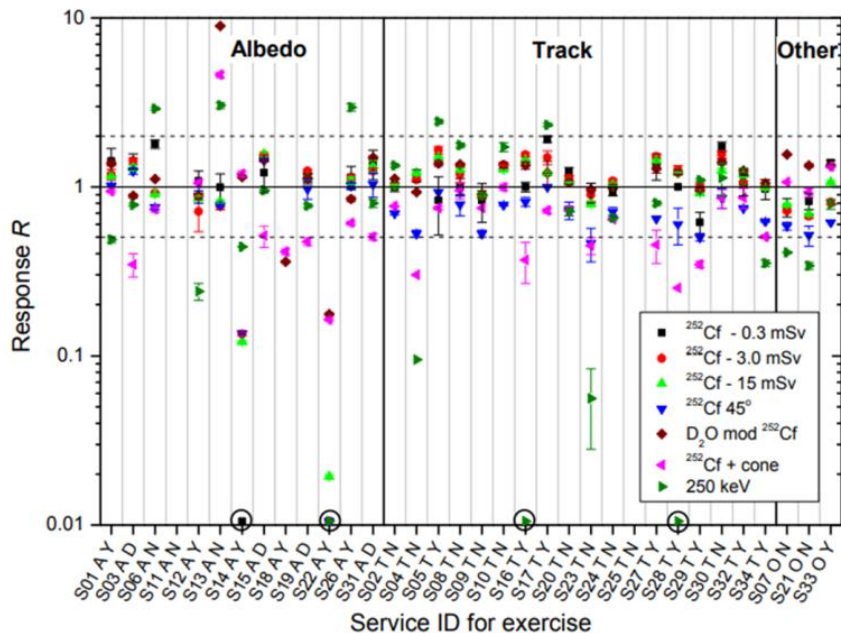
Schumacher, H. et al. Evaluation of Individual Dosimetry in Mixed Neutron and Photon Radiation Fields. PTB Report, PTB-N49. (2006)

Técnicas en dosimetría personal

- **Trazas nucleares** (SSNTD, Solid State Nuclear Track Detectors)
 - Buena respuesta a neutrones rápidos, $E_n > 50 \text{ keV} - 250 \text{ keV}$, dependiendo del procesado
 - Convertidores para ampliar el rango de E hasta neutrones térmicos
 - Prácticamente insensibles a fotones
- **Albedo** (detectores TL y OSL)
 - Buena respuesta a neutrones térmicos y epitérmicos
 - Algoritmo o calibraciones específicas para ampliar el rango de E hasta neutrones rápidos
 - No adecuados para neutrones monoenergéticos
 - Sensibles a fotones y neutrones
- **Electrónicos** (detectores de semiconductor)
 - Buena respuesta a neutrones rápidos
 - Convertidores para cubrir el rango de energía de neutrones térmicos y epitérmicos
 - Sensibles a fotones y neutrones



Situación en Europa / Internacional



Eurados IC2012n

Eurados Report 2014-02: EURADOS Intercomparison 2012 for Neutron Dosemeters. Fantuzzi, E. et al., (2014)

Country	Number of participants per country
France	4
Germany, Italy, United Kingdom	3
Austria, Czech Republic, Japan, Switzerland	2
Belgium, Finland, Greece, Israel, Poland, Romania, Slovenia, Sweden, The Netherlands, USA	1

Eurados IC2017n

Eurados IC2017n Participants' Meeting, presentations at the AM2019, Łódź, 12-02-2019.

Country	Number of participating system per country
Germany (1), Italy (1)	4
France, United Kingdom	3
Austria, Belgium, Czech Republic, Japan, Switzerland, United States (1)	2
Brazil, Finland, India, Poland, Romania, The Netherlands, Turkey	1

Justificación del proyecto DOPEN

- En España no existe ningún servicio autorizado por el CSN para la dosimetría personal de neutrones
- La necesidad de dosimetría personal se hace evidente en las nuevas instalaciones: protonterapia, aceleradores de alta energía, ciclotrones, Laboratorio de Patrones Neutrónicos, ATC, etc..



03/07/2020: Se publica en BOE el Convenio entre el CSN y el CIEMAT con el título:

«Desarrollo de un sistema de dosimetría personal de neutrones» (DOPEN)

Responsables técnicos: Carmen Barbero (CSN) y Ana M. Romero (CIEMAT)

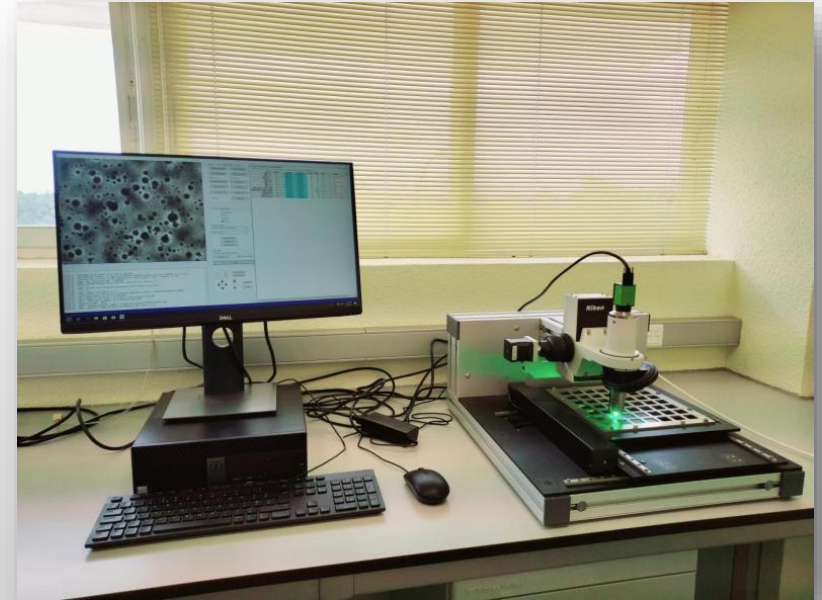
Participantes: José M. Gómez, Montserrat Moraleda y Rafael Rodríguez (CIEMAT)

Duración: Inicialmente, 2 años. **Ampliado hasta Junio de 2024.**

Objetivo del proyecto DOPEN

Desarrollo y validación de un sistema para la dosimetría personal de neutrones de los trabajadores expuestos, de acuerdo con los estándares internacionales aplicables a este tipo de dosimetría

Laboratorio dosimetría personal de neutrones - CIEMAT



Medios técnicos: Sistema TASL Image (Track Analysis System Ltd)

Sistema completo de revelado, lectura automatizada y análisis de detectores PADC (CR-39)



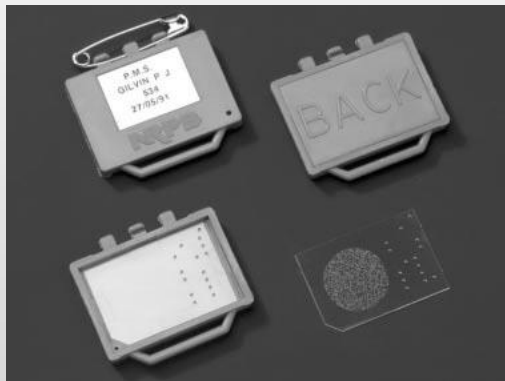
- Microscopio de alta calidad con control de movimiento tridimensional, iluminación por LED y sistema óptico libre de aberración cromática al infinito
- Cámara de alta resolución programable
- Programa de análisis de imagen con capacidad para:
 - Proporcionar información de la longitud y diámetro, densidad óptica y simetría de la traza
 - Contabilizar neutrones de distintas energías en función de los parámetros de la traza
 - Discriminar de forma automática las trazas debidas al fondo ambiental
 - Conversión automática a dosis

Detectores PADC - TASTRACK

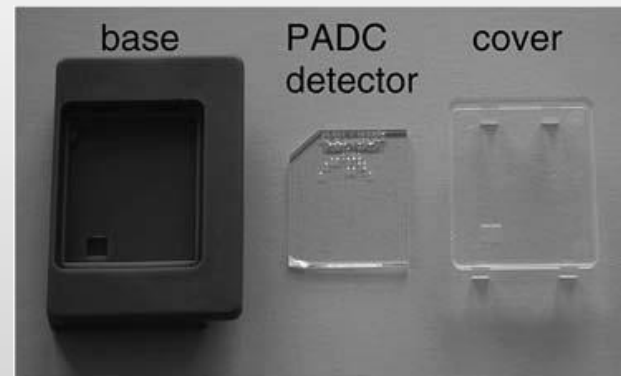


- Revelado químico: 3 – 6 h
- Rango de dosis medible: 0.2 mSv - 600 mSv
- Respuesta a neutrones de $20 \text{ keV} < E_n < 15 \text{ MeV}$

Portadosímetros para conseguir respuesta térmica y epitérmica



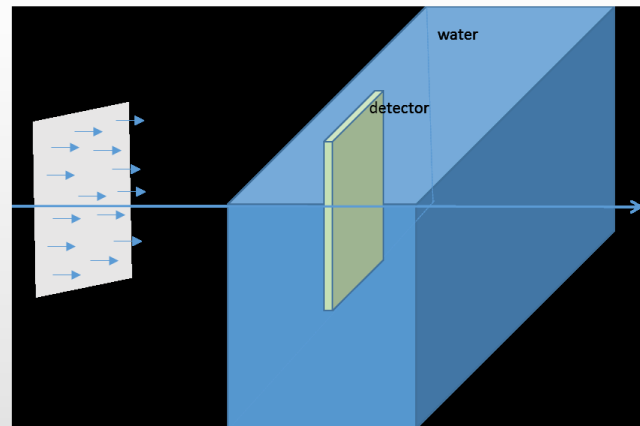
PHE : $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$



PSI: $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$

Desarrollo de dosimetría personal neutrónica (DOPEN)

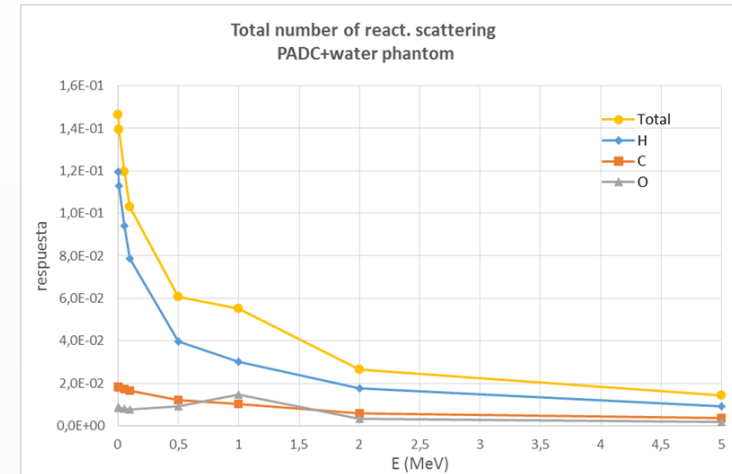
Se ha simulado la **respuesta energética y angular** de detectores de trazas PADC bajo lámina de Nylon y sobre maniquí de agua 30x30x15 utilizando el código de Monte Carlo MCNP6.



Desarrollo de dosimetría personal neutrónica (DOPEN)

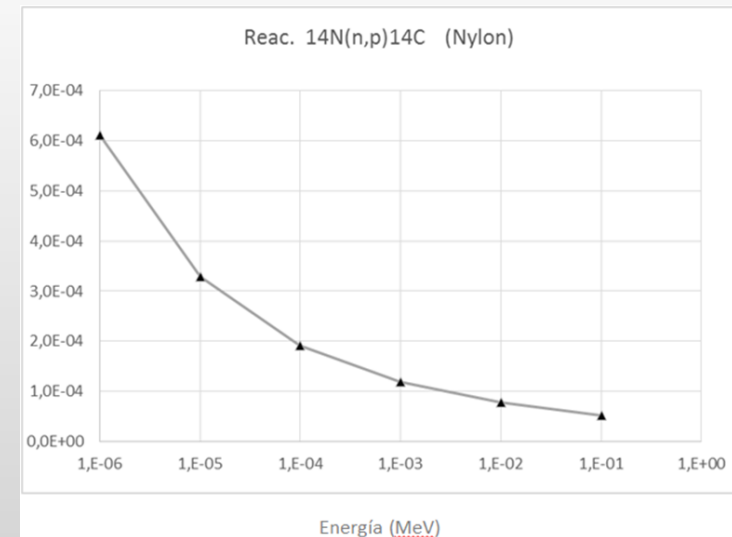
Neutrones con $E > 100$ keV

- Número de reacciones de colisión elástica en el detector
- La fluencia de neutrones que provienen del maniquí se estima en un 20-25% del total lo que supone $\sim 30\%$ más de reacciones



Neutrones con $E < 100$ keV

- Número de reacciones de captura neutrónica en el Nylon



Desarrollo de dosimetría personal neutrónica (DOPEN)

La respuesta angular se ha estimado comprendida entre 0,93 y 1,01 para neutrones monoenergéticos en el rango de energías que va de 0,1 MeV a 5 MeV y con ángulos de incidencia de 0° a 45°. Estos resultados, aunque preliminares, resultan bastante prometedores.

Tabla 1. *Número de reacciones por unidad de fluencia en el detector según el ángulo de incidencia del haz de neutrones*

E (MeV)	Respuesta(cm ²)						
	0°	15°	ratio	30°	ratio	45°	ratio
0,1	1,08E+00	1,09E+00	1,01	1,10E+00	1,02	1,03E+00	0,95
0,5	6,38E-01	6,40E-01	1,00	6,42E-01	1,01	5,94E-01	0,93
1	5,82E-01	5,82E-01	1,00	5,78E-01	0,99	5,44E-01	0,93
2	2,80E-01	2,80E-01	1,00	2,79E-01	1,00	2,59E-01	0,93
5	1,52E-01	1,52E-01	1,00	1,52E-01	1,00	1,43E-01	0,94

¡Gracias por su atención!

