



## CÁLCULO DE LA RESPUESTA DEL DETECTOR $^{10}\text{B}+\text{ZnS}(\text{Ag})$

Karen A. Guzmán-García<sup>1</sup>, Eduardo Gallego-Díaz<sup>1</sup>, Héctor René Vega-Carrillo<sup>2</sup>, Juan Antonio González<sup>3</sup>,  
Alfredo Lorente-Fillol<sup>1</sup>, Sviatoslav Ibáñez-Fernández<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Energética, ETS Ing. Industriales, Universidad Politécnica de Madrid  
C. José Gutiérrez Abascal, 2, 28006, Madrid, España.

<sup>2</sup> Unidad Académica de Estudios Nucleares, Universidad Autónoma de Zacatecas  
C. Ciprés 10, Fracc. La Peñuela, 98068 Zacatecas, México

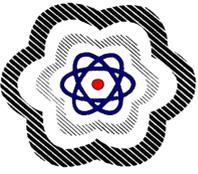
<sup>3</sup> Laboratorio de Ingeniería Nuclear, E.T.S. Ing. Caminos, Canales y Puertos,  
Universidad Politécnica de Madrid,

Campus Ciudad Universitaria, C. Profesor Aranguren 3, 28040, Madrid, España.

E-mail: [ingkarenguzman@gmail.com](mailto:ingkarenguzman@gmail.com)



**POLITÉCNICA**



**U a E N**

### INTRODUCCIÓN

Debido al incremento en el control de mercancías para prevención del tráfico ilícito de material radiactivo y nuclear, en lucha contra el terrorismo nuclear, ha supuesto en numerosos países un aumento en el uso de sistemas de detección capaces de efectuar controles de forma fiable y rápida [1].

Los sistemas de detección instalados son los llamados "Radiation Portal Monitors" RPM o Monitores de Radiación tipo Pórtico [1], incluyen en conjunto detectores gamma y de neutrones para la detección de Materiales Nucleares Especiales (SNM) [2].

Habitualmente, los detectores de neutrones empleados en los pórticos son contadores proporcionales de  $^3\text{He}$ , pero debido a la escasez de  $^3\text{He}$ , reportada desde 2009, se han hecho diferentes investigaciones para encontrar alternativas de detección, buscando características similares a las de los equipos ya instalados con  $^3\text{He}$  [3]

### Objetivo

El objetivo de este trabajo fue calcular la respuesta de un novedoso detector de  $^{10}\text{B}+\text{ZnS}(\text{Ag})$  con distintas condiciones de moderación. La moderación ha sido diseñada en el Laboratorio de Ingeniería Nuclear (UPM) y fue fabricado por la empresa BridgePort. En forma comercial se conoce como nDet-Brick, N-15. La respuesta se calculó mediante métodos Monte Carlo con el código MCNPX [4].

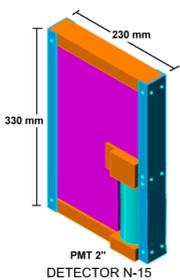
### MATERIALES Y MÉTODOS

El detector N-15 es un detector de neutrones de centelleo de geometría rectangular (23x33x4 cm). La zona sensible del detector está formada por 5 laminas transparentes de 0.017cm de espesor de una mezcla de  $^{10}\text{B}$  enriquecido al 96% y de un centellador de  $\text{ZnS}(\text{Ag})$ ,  $^{10}\text{B}+\text{ZnS}(\text{Ag})$ . Las láminas están depositadas entre 4 placas de PMMA de 8 mm de espesor que actúan como guía de luz y moderador, rodeado de un reflector de aluminio Mylar de 8  $\mu\text{m}$ .



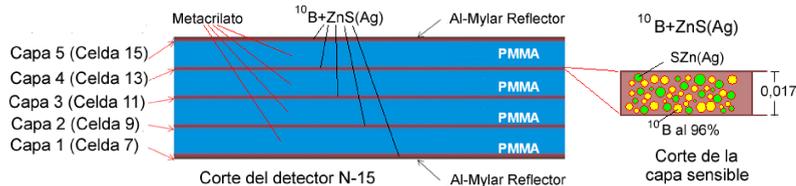
**Detector N-15  
Desnudo y con  
espesores frontales  
y posteriores de  
distinto espesor de  
Polietileno de Alta  
Densidad PEAD**

**Desnudo**



**12mm + 24mm**

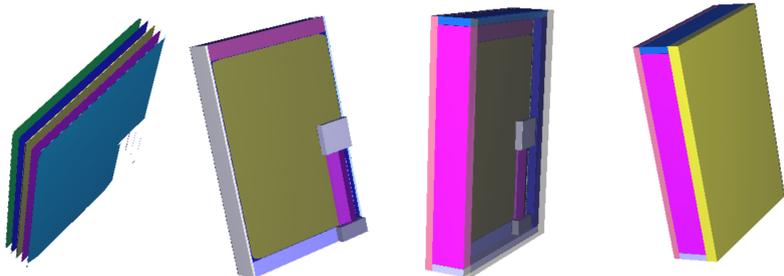
**24mm + 48mm**



**Capas sensibles del detector de  $^{10}\text{B}+\text{ZnS}(\text{Ag})$  y Placas de PMMA**

### Código Monte Carlo MCNPX

Mediante el código MCNPX [4] se hizo un modelo detallado del detector tridimensional en distintas condiciones, desnudo, con moderadores de 12 y 24 mm de PEAD, y moderadores frontales desde 10 – 100 mm de PEAD, se estimó la respuesta del detector, medida en el número de reacciones  $(n,\alpha)$  para 29 fuentes monoenergéticas de  $10^{-9}$  a 20 MeV [5] además la respuesta para dos fuentes de neutrones de  $^{241}\text{AmBe}$  y  $^{252}\text{Cf}$  en las mismas condiciones, desnudo y de moderación.



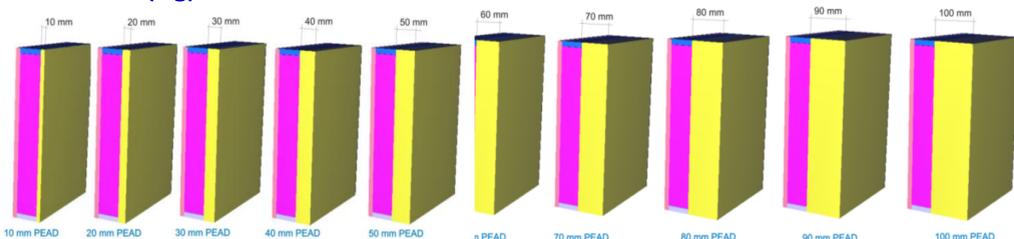
**Capas de  
 $^{10}\text{B}+\text{ZnS}(\text{Ag})$**

**Desnudo**

**12+24 mm PEAD**

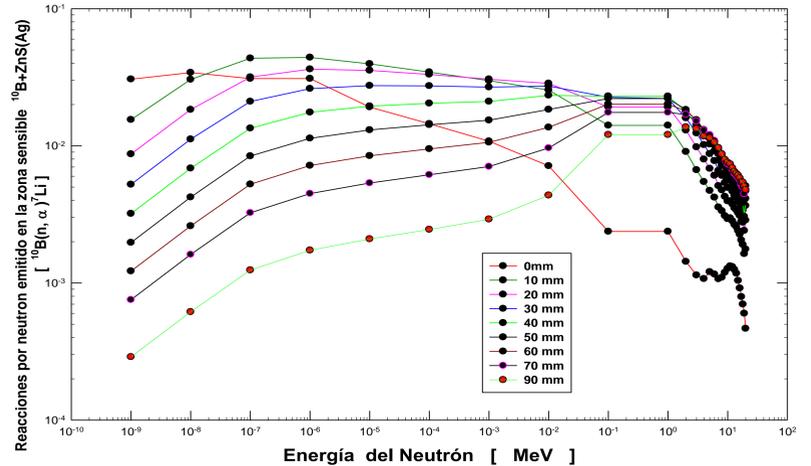
**24+48 mm PEAD**

\*Secciones eficaces de la librería ENDF/B-VI  
\*Incluido tratamiento  $S(\alpha, \beta)$  para el efecto del moderador de neutrones de bajas energías

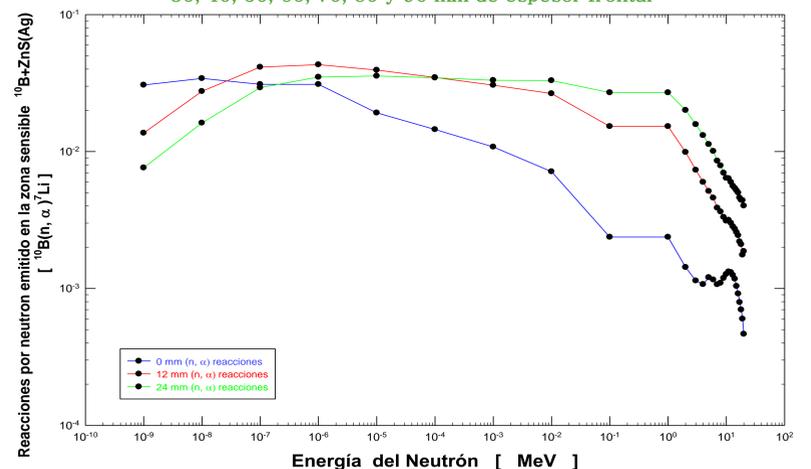


**De 10 a 100 mm de PEAD frontales en el detector y 24mm Laterales**

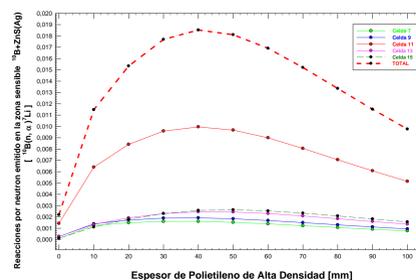
### RESULTADOS



Respuesta  $c^{10}\text{B}(n, \alpha)$  del detector N-15 con moderadores de PEAD de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90 mm de espesor frontal

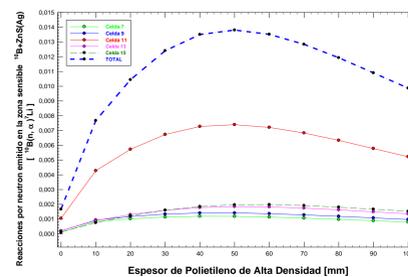


Respuesta  $c^{10}\text{B}(n, \alpha)$  del detector N-15 con moderadores de PEAD de 0, 12 y 24 mm de espesor



Respuesta  $^{10}\text{B}(n,\alpha)$  del detector N-15 con moderadores de PEAD de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 mm de espesor frontal, ante una fuente de  $^{252}\text{Cf}$

Cm	$R(^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}) \cdot (-10^{-4})$					$(n, \alpha)$ $(\cdot 10^{-4})$	$n/\text{cm}^2$ $(\cdot 10^{-4})$
	Cel 7	Cel 9	Cel 11	Cel 13	Cel 15		
0	1.078	2.067	<b>14.25</b>	2.732	1.188	21.191	174.2
12	12.96	14.68	<b>68.64</b>	14.72	12.56	123.5	232.2
24	<b>24.10</b>	<b>25.40</b>	<b>118.0</b>	<b>26.33</b>	<b>25.12</b>	<b>218.8</b>	<b>264.1</b>



Respuesta  $^{10}\text{B}(n,\alpha)$  del detector N-15 con moderadores de PEAD de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 mm de espesor frontal, ante una fuente de  $^{241}\text{AmBe}$

Respuesta de las distintas Capas del detector N-15 desnudo y con 12 y 24 mm de PEAD ante una fuente de  $^{252}\text{Cf}$

Cm	$R(^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}) \cdot (-10^{-4})$					$(n, \alpha)$ $(\cdot 10^{-4})$	$n/\text{cm}^2$ $(\cdot 10^{-4})$
	Cel 7	Cel 9	Cel 11	Cel 13	Cel 15		
0	0.9815	1.976	<b>10.48</b>	2.085	1.185	16.71	158.8
12	8.689	9.813	<b>45.96</b>	9.861	8.499	82.82	201.4
24	<b>17.39</b>	<b>18.23</b>	<b>84.07</b>	<b>18.67</b>	<b>17.76</b>	<b>156.1</b>	<b>231.9</b>

Respuesta de las distintas Capas del detector N-15 desnudo y con 12 y 24 mm de PEAD ante una fuente de  $^{241}\text{AmBe}$

### CONCLUSIONES

Se calculó la respuesta del detector desnudo y diferentes espesores de polietileno de alta densidad para fuentes monoenergéticas de neutrones y para fuentes de  $^{241}\text{AmBe}$  y  $^{252}\text{Cf}$ . La mejor respuesta se obtiene cuando el espesor del moderador es de 24 mm

### REFERENCIAS

- [1]- COOPER, R et al, Report on the meeting of detectors experts held at PRM II, 10 Agosto [2009].
- [2]- KOUZES, Pacific Northwest reports, PNNL19311. 1-47 (2010).
- [3]- SHEA, Congressional Research Service, CSR Report for congress, Diciembre (2010).
- [4]- PELOWITZ, MCNPX Users Manual Laboratorio de los Alamos, LA-CP- 11-00438, Abril (2001).
- [5]- H.R. VEGA CARRILLO International Journal of Radiation Protection Research 11:149-153 (2013).