

Trabajo de fin de Grado en Física

CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO DE UN
PROTOTIPO DE DETECTOR DE FIBRAS
CENTELLADORAS PARA LA MEDICIÓN
DEL TRITIO EN AGUA

Instituto de Física Corpuscular (Universitat de Valencia)

September 4, 2017

Alumno: Alberto Soler Cambra

Tutora: Nadia Yahilali Haddou
Tutor: José Díaz Medina

Contents

1	INTRODUCCIÓN	4
2	FIBRAS CENTELLADORAS	5
2.1	Descripción	5
2.2	Comparación de fibras comerciales	6
3	Protocolo para el corte de fibras ópticas de plástico	8
3.1	Desarrollo	8
3.2	Primeros resultados	11
3.3	Resultados con guillotina	16
4	Montaje del manojo de fibras	18
5	Montaje del sistema de medición	20
5.1	Descripción detallada de los módulos de instrumentación nuclear (NIM)	21
5.1.1	Caracterización del módulo de amplificación	24
5.1.2	Caracterización del MCA	25
5.2	Montaje y adquisición de datos del prototipo TRITIUM	26
5.2.1	Primera parte del montaje	26
5.2.2	Segunda parte del montaje	27
6	Resultados	29
6.1	Resultados con una sola fibra con fuentes radiactivas encapsuladas	30
6.2	Resultados con el prototipo TRITIUM con agua tritiada	31
7	CONCLUSIÓN	34

Abstract

Este trabajo está centrado en la realización de un prototipo de detector de centellador capaz de detectar la radiación del agua tritiada, es la base para el proyecto Tritium en el que se desea caracterizar el espectro emitido por el Tritio cuando la radiación beta interacciona con las fibras centelladoras. El elemento principal y el primero que trataremos son las fibras ópticas centelladoras para el proyecto, de las que hacemos un estudio para saber cuáles son las más apropiadas, y veremos cómo cortarlas y pulirlas. Seguidamente, trataremos el sistema electrónico necesario para la adquisición de los espectros tomados con las fibras centelladoras. Y finalmente diseñaremos el montaje de un prototipo que nos permita introducir agua tritiada en contacto con las fibras para poder determinar su espectro.

This work is focused on the realization of a prototype of scintillator detector capable of detecting the radiation of tritiated water, is the main idea for the Tritium project in which it is desired to characterize the spectrum emitted by Tritium when the beta radiation interacts with the scintillator fibers. The main element and the first one we will approach are the scintillating optical fibers for the project, of which we do a study to know which are the most appropriate, and we will see how to cut and polish them. Then, we will deal with the electronic system necessary for the acquisition of the spectra taken with the scintillating fibers. And finally we design the assembly of a prototype that allows us to introduce tritiated water in contact with the fibers to be able to determine its spectrum.

1 INTRODUCCIÓN

La detección del tritio en el ambiente y en el agua en particular, es uno de los controles sistemáticos necesarios en los entornos de una central nuclear, debido a su producción en la generación de energía por fisión y en un gran número de investigaciones. Por ello existen varios sistemas para su medición: los detectores de gas, de semiconducción y centelladores sólidos y líquidos.

Con los detectores de gas se debe introducir la cantidad de vapor de agua con contenido de tritio que se desea medir en una cámara de ionización. Este método resulta muy complejo debido a la necesidad de evacuación del mismo gas. Los detectores de semiconducción son muy frágiles, por lo que no pueden exponerse directamente al agua. Los centelladores líquidos han llegado a detectar niveles de tritio en agua de hasta 1 Bq/l, el problema reside en la necesidad de mezclar el agua tritiada con el líquido centellador, el cual es muy tóxico, generando así una gran cantidad de residuos.

Diversos autores han probado a construir dispositivos de monitorización con centelladores sólidos. K.F. Hofstetter construyó en 1993 un dispositivo en el que se obtenían valores de detección de 22000 Bq/l durante 2 minutos de medida [1]. Posteriormente se construyeron otros monitores como el Rathnakaran en el 2000 y Kamano en 2011 que conseguían en el mejor de los diseños niveles de detección con valores de hasta 10000 Bq/l en 10 minutos de medida.

Nuestro objetivo principal es la construcción de un monitor de tritio en agua que sea capaz de medir en tiempo quasi-real la presencia de niveles de actividad entre 100 y 1000 Bq/l, detectando niveles superiores al nivel recomendado por la Comunidad Europea (>100 Bq/l) que puedan limitar el uso del agua para el consumo. En la propuesta para nuestro proyecto utilizaremos centelladores sólidos diseñando un prototipo que nos permita maximizar la cantidad de superficie de contacto entre el centellador y el agua tritiada para la máxima eficiencia de detección. Este tipo de monitor, cuando esté plenamente operativo, debe cubrir un rango de actividades para el que no existe en la actualidad una solución comercial operativa. Su diseño está basado en el uso de fibras centelladoras leídas por fotosensores SiPM (fotomultiplicadores de silicio), las cuales, el mercado actual ofrece precios asequibles para todos sus componentes y además, se podría utilizar la experiencia que algunos de los socios promotores del proyecto ya poseen en construcción de detectores en experimentos previos.

El monitor debe permitir la detección de niveles cercanos a 100 Bq/l de tritio en las aguas. Su utilidad será prácticamente universal, en particular en aquellos ríos que tengan en sus cuencas, centrales nucleares refrigeradas con sus aguas y con las que se pretenda realizar un segundo uso, para el riego o para el consumo humano, debiendo en consecuencia tenerse un conocimiento preciso y en tiempo quasi-real de sus niveles radiactivos.

Para el desarrollo del prototipo de detector de tritio con fibras centelladoras, debemos seleccionar las fibras centelladoras y los fotosensores más adecuados. Para este trabajo de prácticas en particular, desarrollamos soluciones técnicas para la preparación de las fibras que permitan su acoplamiento óptimo a los fotosensores y guías como su transporte óptimo de luz de centelleo producido por el depósito de energía del tritio.

2 FIBRAS CENTELLADORAS

2.1 Descripción

Las fibras centelladoras de luz, están compuestas de un núcleo de poliestireno con una cobertura (clad) de polimetilmetacrilato (PMMA) y en algunos casos una capa externa (EMA) que reduce el crosstalk (la transferencia de luz entre diferentes fibras cuando están empaquetadas). El poliestireno contiene moléculas fluorescentes que emiten luz cuando son atravesados por radiación ionizante, así como electrones o partículas alfa, propias de desintegraciones radiactivas. Al tratarse de un proceso fluorescente, la reemisión de luz es inmediata (10^{-8} s). En la [Figure 1](#) podemos observar la propagación de la luz producida por una partícula ionizante que atraviesa la fibra. La luz emitida por fluorescencia se emite a lo largo de la fibra a través de reflexiones internas producidas en la interface entre el núcleo y la cobertura externa. Evidentemente, una fibra sin cobertura externa, tendrá muchas más pérdidas respecto a la luz recolectada. Si una fibra tiene varios revestimientos (multi-clad) con índices de refracción decrecientes desde el núcleo al exterior, la eficiencia de captura es mucho mayor.

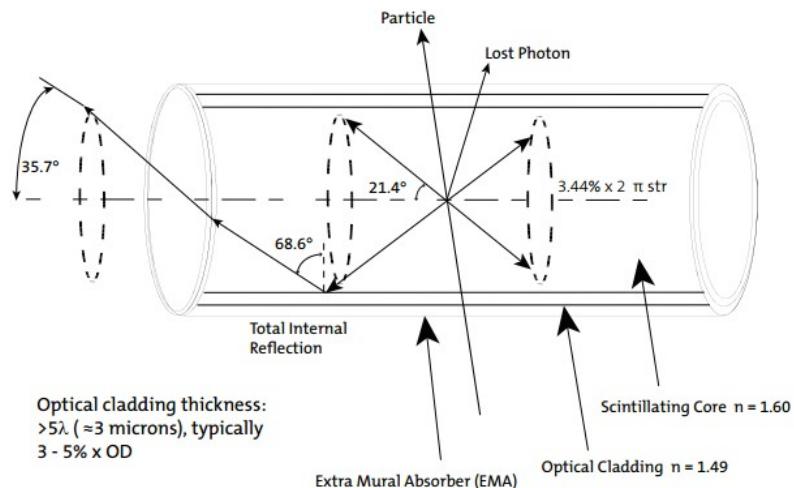


Figure 1: Transporte de luz en el interior de una fibra óptica centelladora

2.2 Comparación de fibras comerciales

Para que en el experimento se puedan obtener los mejores resultados, es necesario escoger las fibras ópticas centelladoras cuyas características son las más apropiadas para las condiciones de medida del experimento en el que se encontrarán, y la mayor eficiencia luminosa.

Con la finalidad de elegir las fibras centelladoras que utilizaremos en el prototipo del detector, es necesario hacer un estudio comparativo de las fibras que nos ofrece el mercado. Principalmente encontramos dos fabricantes con características muy similares, Kuraray [2] y Saint Gobain [3]. Estas dos empresas están especializadas en el diseño de materiales centelladores, entre ellos, de tipo plástico. En la [Table 1](#) se muestran las propiedades que caracterizan de las fibras ópticas centelladoras de plástico de ambas empresas.

		Saint-Gobain	Kuraray
Single-Clad	Core material	PS	PS
	Cladding Material	Acrylic	PMMA
	Cladding Thickness (R)	3%	3%
	Cladding Thickness (SQ)	4%	2%
	Standard sizes (R) and (SQ)	0.25 to 5.00 mm	0.20 to 2.00 mm
	NA	0.58	0.55
	Trapping efficiency (R)	3.44%	3.10%
	Trapping efficiency (SQ)	4.4%	4.2%
	Radiation length	42cm	-
	Operation temperature	-20°C to +50°C	-
Multi-Clad	Vacuum compatible	Yes	-
	Material	Fluor-Acrylic	Fluorinated polymer
	Thickness (R)	1%	3%
	Thickness (SQ)	2%	Not exists
	Trapping efficiency (R)	5.6%	5.4%
	Trapping efficiency (SQ)	7.3%	Not exists

(NA) Aperture number
(SQ) Square Fiber
(R) Round fiber

Table 1: Características de las fibras centelladoras con un revestimiento simple (single-clad) y múltiple (multi-clad) de Saint Gobain y de Kuraray.

Hemos podido observar que la empresa Kuraray no da especificaciones de algunas características como la longitud de radiación, temperatura de trabajo o la eficiencia luminosa. De la publicación de IPscience [5] averiguamos que las SciFi (fibras ópticas centelladoras) de Kuraray tienen una eficiencia luminosa de 7000-10000 fotones/MeV compatibles con los 8000 fotones/MeV que especifica el catálogo de la empresa Saint Gobain. Otro dato a tener en cuenta es que Saint-Gobain ha demostrado un gran avance y experiencia en el campo sacando al mercado SciFi de sección cuadrada (SQ) con multi-clad, las cuales tienen

muchas más eficiencias de captura que las de sección circular (R).

En el prototipo Tritium utilizaremos las fibras de plástico centellador, modelo BCF-12, de Saint-Gobain, con un pico de emisión en los 435 nm ([Figure 2](#)), 3.2 ns de tiempo de decaimiento y 2.7 m de longitud de absorción, esto quiere decir que está optimizada para ser utilizada en longitudes muy largas. Es de tipo S, esto quiere decir que el núcleo ha tenido un tratamiento de orientación de las moléculas a lo largo de la dirección de propagación de la luz, esto hace que sea más resistente al ser dobladas evitando que el núcleo se quiebre, este tratamiento hace que sea menos transparente. Si notamos que durante el montaje del prototipo y el uso que se le dará al futuro detector no implica que las fibras sufran ante agentes externos como corrientes de agua, podríamos utilizar SciFi de tipo non-S, sin este tratamiento de orientación de las moléculas, que son más transparentes al transporte de luz (menos absorbentes), pero más frágiles.

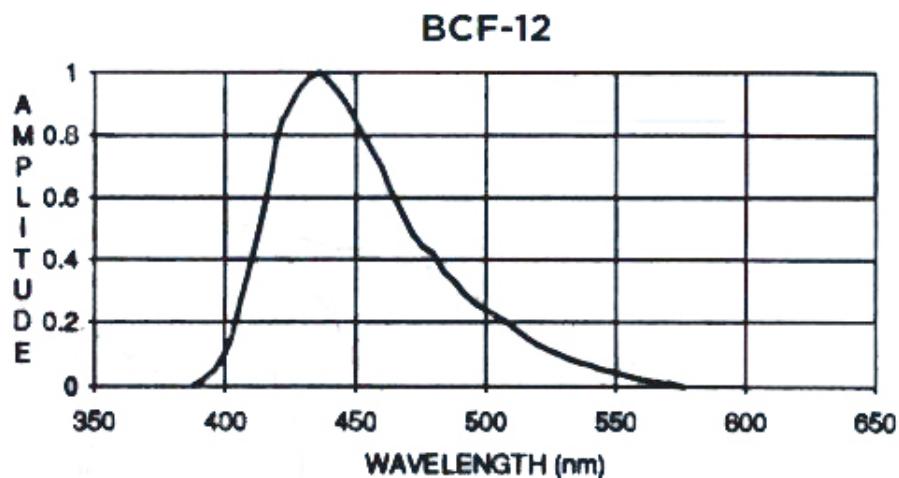


Figure 2: Espectro de emisión de la fibra centelladora BCF-12 de Saint Gobain.

En la [Figure 3](#) se muestran las fibras ópticas centelladoras BCF-12 de Saint-Gobain, tienen 1 metro de longitud y 1 mm de diámetro.

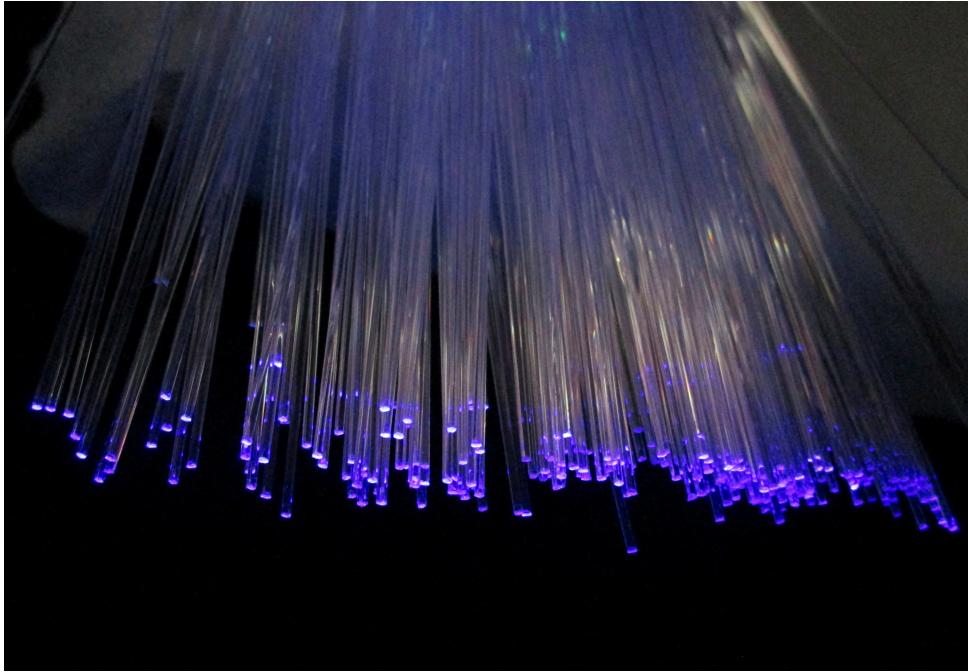


Figure 3: Fibras ópticas centelleadoras BCF-12 que utilizaremos para el prototipo. Se puede observar que el espectro de emisión de la fibra es de color azul, correspondiente a la longitud de onda de 435 nm aproximadamente.

3 Protocolo para el corte de fibras ópticas de plástico

3.1 Desarrollo

Para realizar el prototipo del detector Tritium, necesitamos que todas las fibras tengan exactamente la misma longitud, que las terminaciones sean perpendiculares al eje de las fibras y perfectamente pulidas. Esto requiere plantear un método de corte en el que es necesario disponer las fibras sobre una plataforma, que, al cortarlas, lo haga siempre de la misma manera dándoles a todas la misma longitud. Posteriormente se les aplica un mismo procedimiento de pulido de las terminaciones, de esta manera podremos crear un manojo, que en su conjunto, transportaría toda la luz a un mismo PMT (tubo fotomultiplicador). Esto es importante, ya que si alguna fibra queda un poco corta, no se acoplará perfectamente a la ventana del PMT, para reducir este factor y evitar pérdidas de luz en la interface entre fibras y PMT, utilizaremos grasa óptica que actúa de guía de luz.

Hay diversos procedimientos de corte. El más rudimentario que proporciona

Thorlabs [4] en su manual, es utilizando una cuchilla de mano que nos permita hacer una hendidura en la fibra y posteriormente separarla dejando que se abra la hendidura formando una grieta hasta que se separe Figure 4 (a) y (b). El hecho de crear la grieta es para que la cuchilla no marque la superficie seccionada de la fibra rasgándola a medida que la cortase.

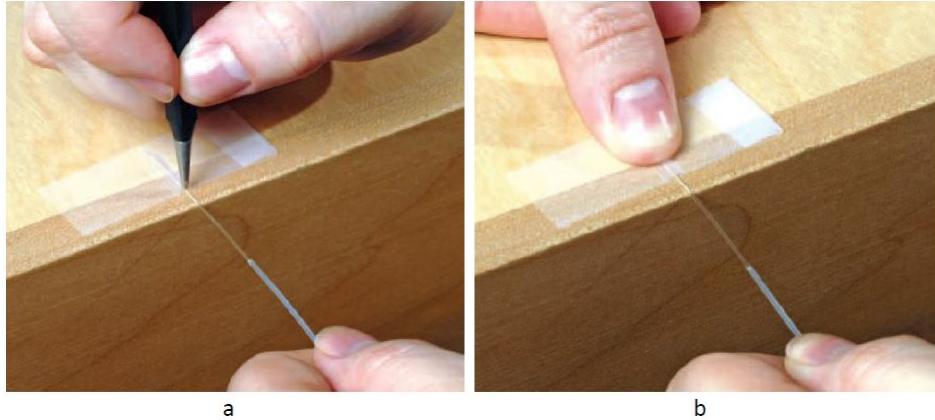


Figure 4: Procedimiento de corte de una fibra utilizando una cuchilla con punta de diamante: (a) hacemos una hendidura en la fibra y (b) tiramos de la fibra hasta que se seccione [4].

Para nuestro caso, necesitamos preparar centenares de fibras y todas con la misma calidad, pero este procedimiento es ineficiente para un número importante de fibras, además, tendría el riesgo de que al cortarla manualmente, realizar un corte oblicuo, no cortar exactamente por el lugar marcado o a la hora de hacer la hendidura en la fibra, hacer más fuerza de lo normal y terminar partiendo la fibra haciendo que tengamos que repetir el procedimiento y desechando estos restos desaprovechando el material. Por lo tanto buscamos un método mecánico que nos permita repetir el proceso numerosas veces con una calidad uniforme y controlable. Esto nos lleva a utilizar una guillotina en la que podemos fijar las fibras sobre unas ranuras y utilizar cuchillas de acero para seccionarlas. En el artículo científico [5] y [6] de como cortar fibra óptica microestructurada (mPOF) de PMMA averiguamos que pueden obtenerse resultados muy buenos en la sección del corte teniendo en cuenta la temperatura y la velocidad de corte, haciendo que no sea ni siquiera necesario el pulido posterior. La guillotina nos permite colocar la fibra siempre en la misma posición, con la cuchilla totalmente perpendicular.

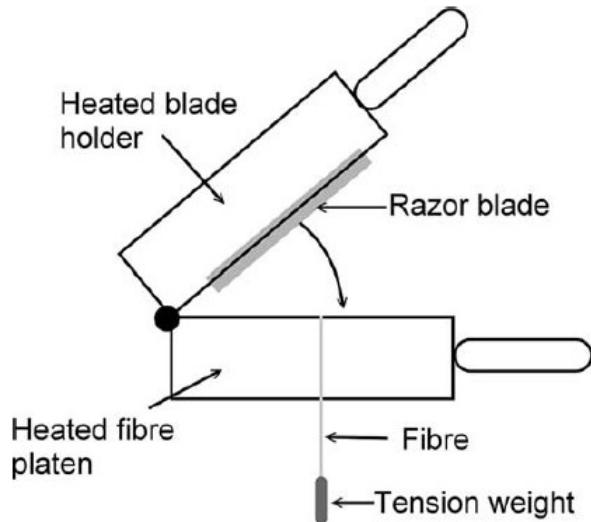


Figure 5: Guillotina con cuchilla de acero [5].

Si hacemos el corte a temperatura ambiente, el material de la fibra es muy duro y frágil. Si calentamos la fibra se hace más dúctil. Necesitamos que a la hora de cortar, la fibra se encuentre en un estado intermedio entre frágil y dúctil, para que la ductilidad le permita a la cuchilla cortar con mayor facilidad y que sea frágil para que en el proceso de corte no sea el filo de la cuchilla el que se encargue de seccionarla, sino que al abrir la brecha, esta se seccione debido a la grieta que se forma con el avance de la cuchilla. En la Figure 6 se muestra gráficamente el proceso descrito.

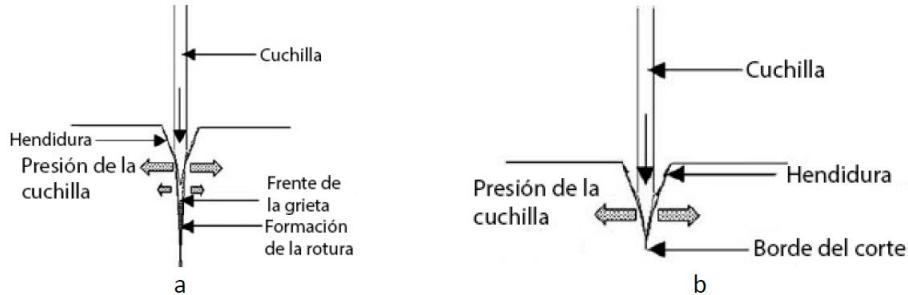


Figure 6: (a) Cuando la fibra es muy frágil la presión de la cuchilla hace que se abra la brecha sin que ésta sea la encargada de abrirla. (b) Cuando la fibra es muy dúctil el filo de la cuchilla es la encargada abrir el corte [5].

Por tanto, es necesario que la fibra se encuentre sobre una base a una temperatura en la que haga que la fibra esté en un estado intermedio entre dúctil y frágil para que con el avance de la cuchilla, la sección se abra sin que la cuchilla

deje marcas ni rasgue las caras. A una temperatura superior a los 100 °C el poliestireno es fácilmente moldeable pero no queremos que la fibra se deforme, así que buscaremos la temperatura adecuada en la que se ablanda que suele ser de unos 80 °C. Para conseguir un mejor acabado, se calienta también la cuchilla y se ajusta la velocidad de corte. La temperatura de la cuchilla debe ser un poco superior a la de la base, pero no mucho más alta, ya que podría derretir la terminación de la fibra y crear deformaciones.

3.2 Primeros resultados

Para poder analizar las secciones del corte utilizamos un microscopio que dispone de aumentos de x4, x10 y x40. En la práctica, el aumento que más hemos utilizado es x10, que nos permite ver detalladamente las imperfecciones y en el que también podemos tomar fotografías a través del ocular. En la [Figure 7\(a\)](#) se muestra el microscopio utilizado, y en la [Figure 7\(b\)](#) se ve como posicionamos una pinza con una ranura en la que ponemos la fibra de forma que nos permite tener la superficie de corte perpendicular a la dirección en la que la observamos. Éste montaje también nos facilita el trabajo de encontrar la fibra con el ocular, ya que va montada sobre el desplazamiento de la platina.

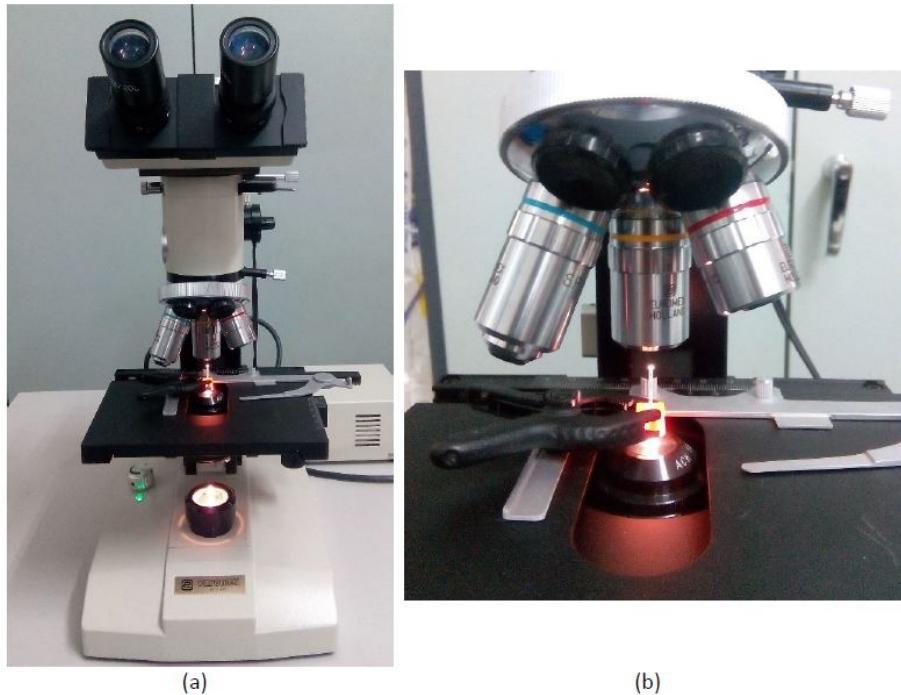


Figure 7: (a) Microscopio utilizado para analizar las secciones del cortes. (b) Pinzas utilizadas para la sujeción de la fibras.

Hemos realizado los primeros ensayos con un bisturí de precisión sobre una placa de aluminio siguiendo los mismos pasos que los descritos en el manual de Thorlabs [4], haciendo una pequeña incisión y separando las partes posteriormente. Podemos ver el resultado en la [Figure 8](#), en la que se muestra una imagen obtenida con microscopio de la sección de la fibra. El problema de este método es que la parte de incisión queda seccionada perfectamente y al separarla crea relieves en el resto de la sección.

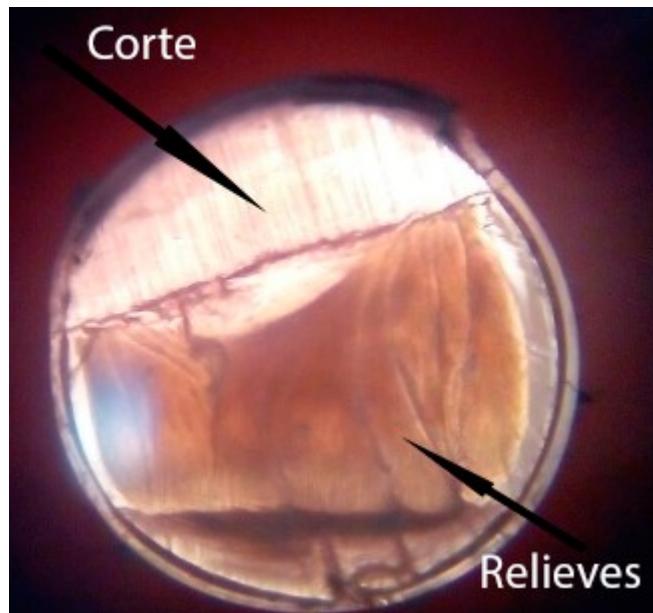


Figure 8: Sección de una fibra de plástico tras un corte por hendidura con bisturí de precisión. La imagen ha sido tomada usando un microscopio i una cámara fotográfica.

Continuamos probando con el bisturí de precisión y esta vez seccionamos totalmente la fibra para ver el resultado que obtenemos. Debido a que la hoja del bisturí no es lo suficientemente fina ni afilada, se ha de ejercer bastante fuerza hasta cortarla y esto hace que el corte no sea totalmente perpendicular cambiando la dirección del bisturí. Otro inconveniente es que rompe el revestimiento de la fibra haciendo que salten algunas virutas dejando algunas zonas sin cobertura externa o con éste colgando, al igual que deforma y resquebraja la terminación de la fibra, como podemos observar en la [Figure 9](#).

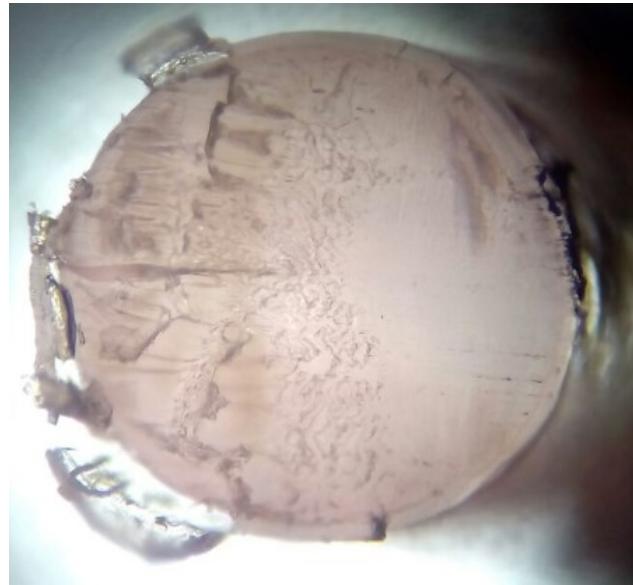


Figure 9: Imagen con corte completo de bisturí.

Para hacer un corte totalmente perpendicular hemos utilizado una guillotina de acero disponible en el taller de mecánica y electrónica del IFIC, y hemos comprobado que aplasta totalmente la fibra dejando un borde plano debido a que la cuchilla utilizada es demasiado gruesa, podemos comprobar el resultado en la [Figure 10](#).



Figure 10: Corte con la guillotina del taller de electrónica del IFIC.

Después de hacer estos ensayos fabricamos un prototipo de guillotina con una hoja de afeitar de acero fijada a una lámina de aluminio que colocamos en una escuadra y hacemos que corte perpendicularmente la fibra. En la [Figure 11](#) podemos ver el montaje utilizado.

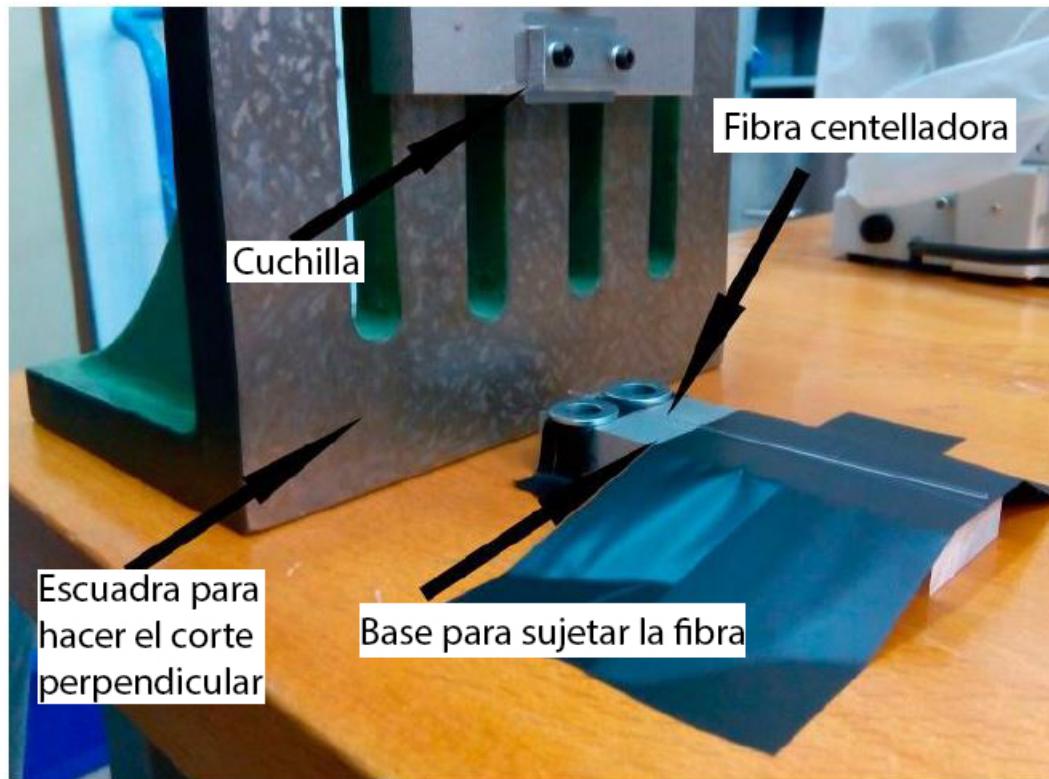


Figure 11: Prototipo del diseño de una guillotina para un corte.

A continuación haremos secciones de la fibra para temperaturas entre 24 y 110 °C utilizando una pistola de calor en la que podemos controlar la temperatura inspirándose en la forma de corte del artículo de “Cleaving of microstructured polymer optical fibres^[7]”. Para ello calentaremos la fibra y la cuchilla y cortamos rápidamente antes de que baje la temperatura de nuevo. En la [Figure 12](#) se recogen imágenes tomadas a través del ocular de un microscopio en las que se muestran detalladamente las secciones obtenidas en cada temperatura.

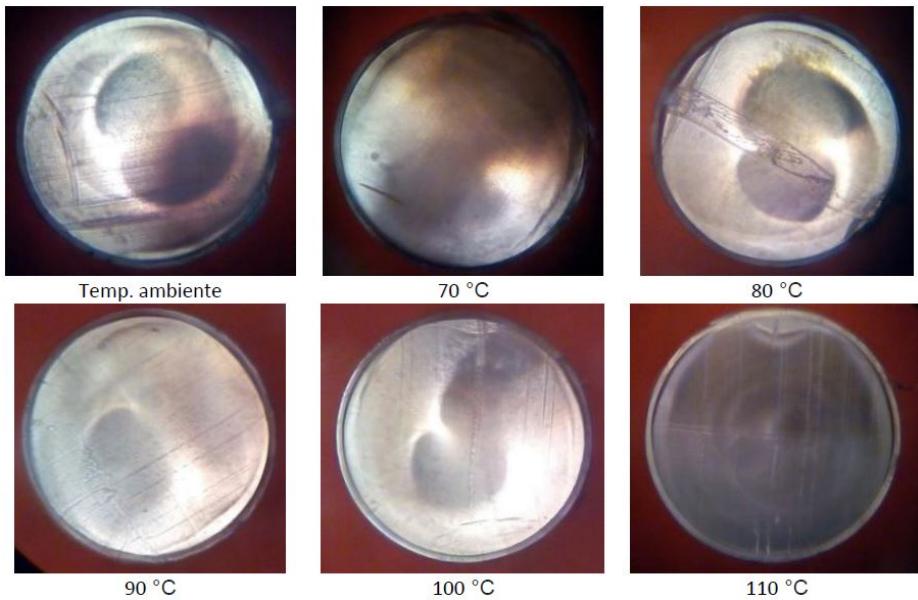


Figure 12: Imágenes de secciones de una fibra de plástico realizadas con una hoja de afeitar a diferentes temperaturas.

En las anteriores imágenes podemos ver que cuando aumentamos la temperatura, los surcos que dejaba la cuchilla a temperatura ambiente ahora quedan más uniformes. No podemos hacer comentarios concluyentes de cuál es la temperatura apropiada para el mejor corte, ya que éste dependía más del posicionamiento inestable de las piezas encima de la mesa, que de la temperatura a la que cortábamos, pero nos da una idea anticipada para cuando tengamos disponible la guillotina.

Al hacer los ensayos nos damos cuenta de que los sucesivos cortes de las fibras desgastan la cuchilla haciendo surcos y acabamos teniendo una cuchilla dentada como mostramos en la [Figure 13](#). Esto hace que tengamos que hacer más fuerza a la hora de cortar y hace que los surcos dejen marcas a lo largo de la sección de corte, como por ejemplo en la imagen que tomamos a 80 °C mostrada en la [Figure 12](#).

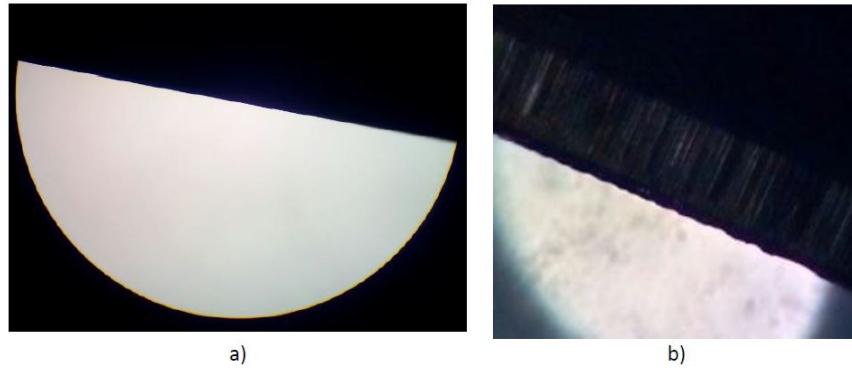


Figure 13: a) Cuchilla completamente nueva. b) Cuchilla desgastada tras varios cortes en la misma zona.

Para evitar que los surcos dejen marcas y deformaciones en las caras secionadas de las fibras centelladoras de plástico, no repetiremos el corte por la misma zona de la cuchilla. Cada corte se realizará en una zona nueva. Para hacer esto, dispondremos el máximo número de fibras en la base que la cuchilla pueda cortar, y luego la desecharmos, ya que es un elemento muy económico y nos permite obtener mejores resultados.

3.3 Resultados con guillotina

Basándonos en los resultados de nuestros primeros ensayos, diseñamos y fabricamos en el taller del IFIC una guillotina que permita cortar varias fibras a la vez con una cuchilla de afeitar.. En la [Figure 14](#) se muestra una fotografía integral de la misma en la que se pueden apreciar las ranuras de 1,1 mm de ancho.

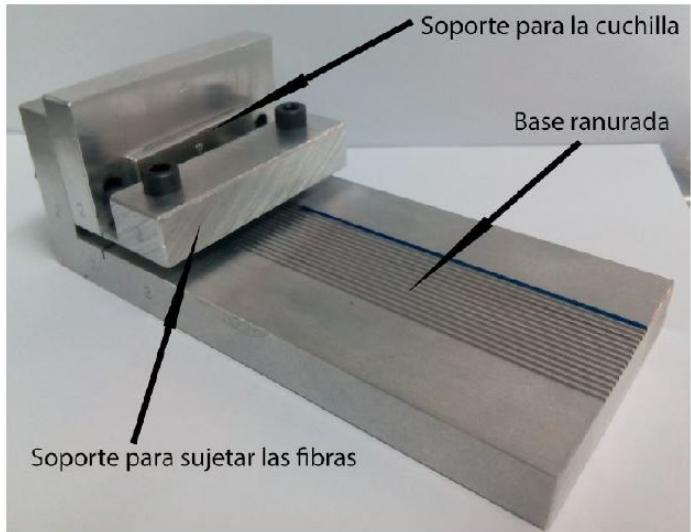


Figure 14: Guillotina montada en el taller de mecánica del IFIC.

Y en la [Figure 15](#) se puede apreciar con más detalle el mecanismo interior en el que el soporte para sujetar las fibras bajaría hasta la base sujetándolas e inmediatamente después bajaríamos el bloque que soporta la cuchilla. Ambos mecanismos funcionan con muelles, así pues, el sistema queda totalmente libre después del corte.

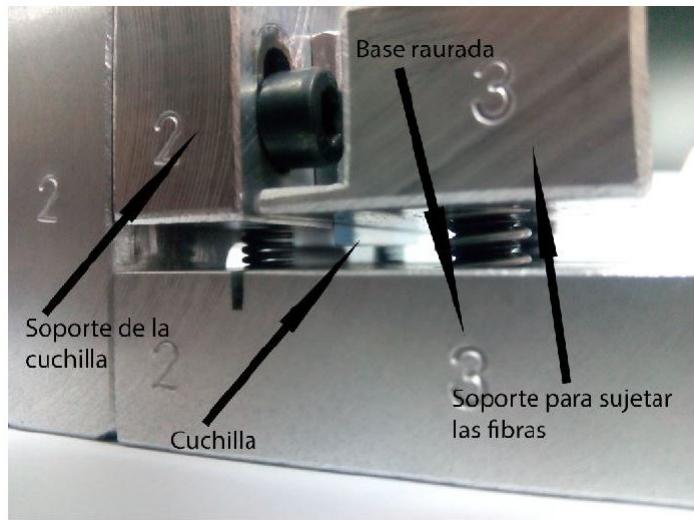


Figure 15: Vista detallada del mecanismo interior de la guillotina.

Después de varios ensayos apreciamos que el corte con la guillotina es limpio y sale siempre igual. En la [Figure 16](#) se muestra la sección de una fibra óptica cortada a temperatura ambiente.

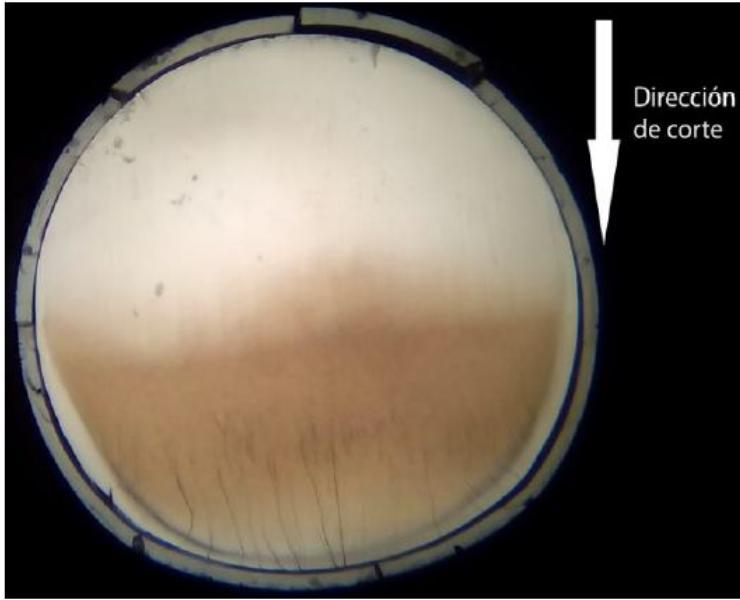


Figure 16: Sección del corte de la fibra óptica realizado con la guillotina.

Se puede ver en la [Figure 16](#) que el corte no deja ningún tipo de imperfección pese a que la parte en la zona que se apoyaba sobre la base de la guillotina no deja pasar totalmente la luz dejando una parte oscurecida con algunas grietas como se aprecia en la fotografía. Esto es debido a la presión necesaria para el corte que ejerce la cuchilla sobre la fibra aplastándola ligeramente contra la base, además cabe observar que también ha sido ligeramente deformada ensanchándose en la dirección transversal al corte. Comparándolo con los primeros ensayos, notamos que hemos conseguido eliminar las líneas que dejaba la cuchilla a lo largo del corte.

4 Montaje del manojo de fibras

La guillotina es el montaje que nos ha permitido hacer cortes con total precisión. Para poder hacer el manojo de fibras que necesitaremos para el primer prototipo del detector Tritium, tendremos que implementar un método de medición de la longitud de las fibras a la hora de cortarlas para que todas queden exactamente igual.

Con respecto al acabado de la terminación de la fibra, es fundamental en el presente proyecto la captación de la mayor cantidad de fotones procedentes de la

emisión por fluorescencia. Recoger toda la luz generada en el interior de la fibra óptica centelladora es nuestro objetivo primordial para mejorar la eficiencia de detección. Así pues, necesitamos mejorar el acabado del corte realizado con la guillotina mostrado en la [Figure 16](#), puesto que la mitad de la sección, pese a quedar totalmente lisa después del corte, queda oscurecida por la deformación de la fibra. Esto evita que parte de la luz procedente de un evento sea recogida por el PMT.

Para solucionar este problema podemos pulir la terminación de la fibra. En el laboratorio disponemos de láminas de óxido de aluminio para pulido de fibras de granos que van desde 30 hasta 0.5 micrómetros. Para pulir las fibras efectuamos movimientos en forma de ocho para que el pulido sea en todas las direcciones. Primero utilizaremos la lámina de 30 microns y posteriormente iremos reduciendo el grano pasando por 20, 12, 5, 1 y 0.3 microns. La orientación de la fibra ha de estar totalmente perpendicular a la superficie del papel de pulido.

Con la pinza que utilizamos para colocar las fibras sobre el microscopio hacemos un primer ensayo con la misma fibra mostrada en la [Figure 16](#). El resultado obtenido se muestra en la [Figure 17](#).

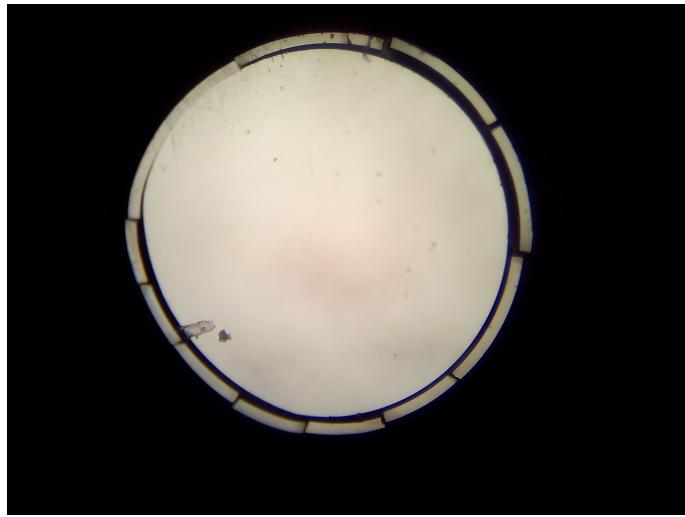


Figure 17: Terminación de la fibra óptica después de pulirla.

Se ve claramente que la zona oscurecida desaparece totalmente dejando pasar toda la luz. También podemos ver que la cobertura externa de la fibra queda fracturada y la sección ligeramente deformada debido a los movimientos realizados para pulirla, éste punto puede resolverse cuando se utilice un disco de pulido que nos permita colocar la fibra de 1 mm de diámetro dentro de una férula que la sujeté perfectamente. Cabe destacar que cualquier fractura de la cobertura externa de la fibra o ligera deformación en su terminación, no afectaría a la cantidad de luz recolectada, ya que la cobertura se utiliza para guiar la luz a lo

largo de la fibra y en nuestro caso la terminación estará untada en grasa óptica para que no haya pérdidas de luz. También es de vital importancia el especial cuidado con la higiene, ya que podemos ensuciar la lámina de pulido durante los movimientos en forma de ocho en caso de apoyarnos para un mejor control, para esto debemos utilizar guantes, así evitaremos que la superficie de la sección de la fibra se ensucie accidentalmente.

5 Montaje del sistema de medición

Para poder detectar toda la luz procedente de la interacción de una partícula en el interior de una fibra centelladora, utilizaremos dos fotomultiplicadores (PMT's) acoplados a cada uno de los extremos de dichas fibras alimentados con una fuente de alta tensión, un módulo de discriminación de señales, uno de coincidencia, un generador de puertas lógicas, un amplificador con su correspondiente preamplificador y un sistema multicanal analizador de señales. Se representa el esquema de montaje utilizado en la [Figure 18](#).

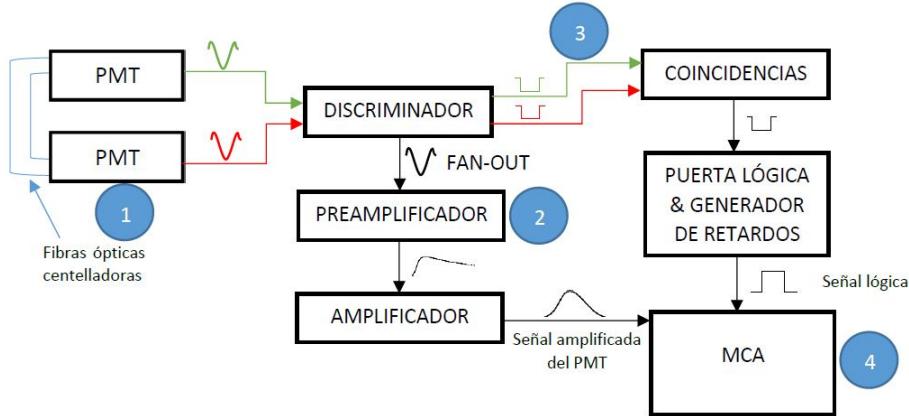


Figure 18: Esquema del sistema de adquisición con módulos de instrumentación nuclear.

En la [Figure 19](#) podemos ver el sistema de módulos debidamente conectados.

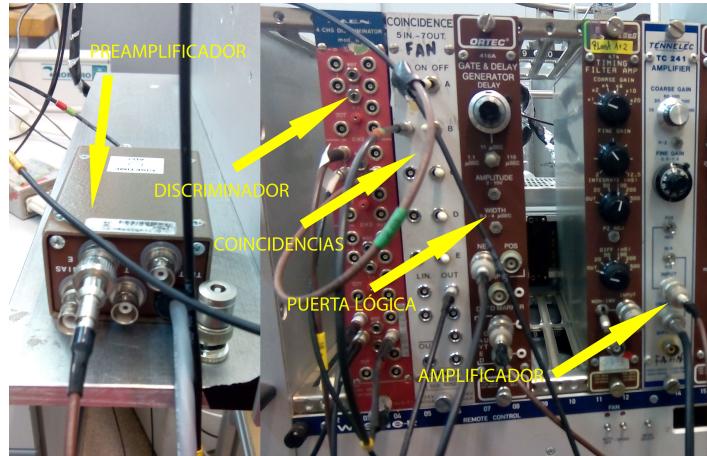


Figure 19: Fotografía del montaje electrónico descrito en el esquema de la Figure 18

Como elemento principal tenemos las fibras ópticas centelladoras, en el interior de las cuales se producen depósitos de energía por las partículas cargadas y conversión de ésta en luz por fluorescencia. La luz de fluorescencia se transmite a lo largo de la fibra y se recogen con PMT's situados en las terminaciones de la fibra, las cuales están untadas con grasa óptica para que no haya pérdidas de luz.

5.1 Descripción detallada de los módulos de instrumentación nuclear (NIM)

PMT's (Hamamatsu R8520-06SEL): Los tubos fotomultiplicadores (Figure 20) son detectores de luz que con la llegada de un haz de fotones ópticos sobre su photocátodo, produce una emisión de fotoelectrones que son colectados en el primer díodo por un campo eléctrico y posteriormente multiplicados en los siguientes díodos, esto requiere alimentar los díodos con una cadena de alta tensión entre el photocátodo y el ánodo donde se colecta la señal eléctrica amplificada, proporcional a la cantidad de luz recolectada. Se conectan a una fuente de alimentación que no sobrepase los 900 V para no dañarlos y la ganancia obtenida es proporcional a la tensión aplicada al tubo fotomultiplicador entre el photocátodo y el ánodo.

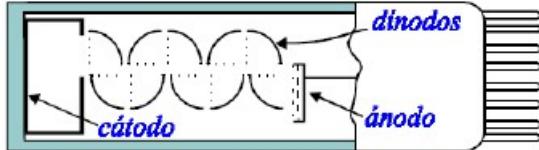


Figure 20: Principales elementos de un PMT [8].

MÓDULO DISCRIMINADOR (C.A.E.N. 4CH DISCRIMINATOR mod. 18):

Este módulo nos permite eliminar el ruido proveniente de los PMT's, dejando pasar solo aquellas señales que están por encima del umbral que deseamos. Si la señal que recibe sobrepasa el umbral puesto, podemos sacar una señal lógica de -800 mV de amplitud y anchura variable. Esta señal lógica la utilizaremos para comprobar coincidencias de señales entre los dos PMT's utilizados.

MÓDULO DE COINCIDENCIAS (COINCIDENCE 5 IN - 7 OUT):

Nos permite detectar coincidencias de diversas señales lógicas de entrada, en nuestro caso solamente dos. Si la anchura de las señales lógicas se solapan en el tiempo, éste módulo producirá una señal lógica según la función lógica AND de coincidencia de las dos señales lógicas de entrada.

GENERADOR DE PUERTAS LÓGICAS: (ORTEC® 416A GATE & DELAY GENERATOR) Es el módulo que con la entrada de una señal lógica, positiva o negativa, genera una señal lógica positiva con una anchura y amplitud ajustables. El módulo también incorpora una función del retardo de dicha señal.

PREAMPLIFICADOR (ORTEC® 142A): Es el módulo que integra la señal de entrada para poder enviarla al amplificador. La señal de salida es un pulso con una larga caída.

AMPLIFICADOR (TENNELEC TC241): Es el módulo al que le pasamos la señal proveniente del preamplificador, la modula y la transforma en una señal gaussiana. Tiene tres configuraciones posibles de tiempo de subida de la señal: 1, 3 y 6 μ s. El tiempo de subida (peak time) es el tiempo que tarda en alcanzar la señal el pico máximo, como la señal es aproximadamente gaussiana será la mitad del tiempo total que dura la señal.

MCA (Multichannel Analyzer): Tarjeta de adquisición basada en la medición del voltaje máximo de la señal de entrada y la asignación a su canal correspondiente con relación proporcional entre canales y voltaje. Crea una lista del número de eventos que ocurren en cada canal, o lo que es lo mismo, el número de eventos con el mismo voltaje y por tanto misma energía. En la [Figure 21](#) se muestra la señal procedente del amplificador y la puerta lógica. La señal de adquisición debe entrar dentro del intervalo de duración de la puerta lógica, que será el momento en el que el MCA mida el máximo voltaje de dicha señal.

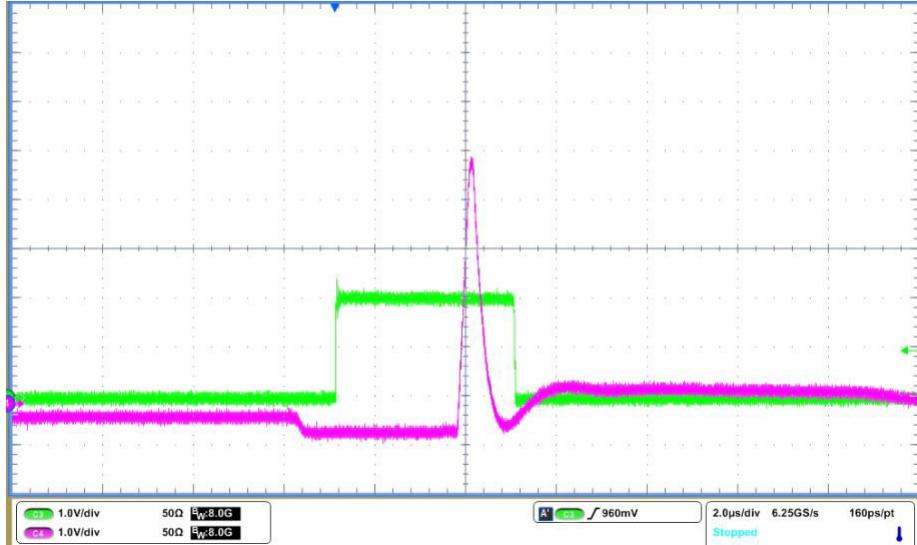


Figure 21: Señal gaussiana procedente del amplificador (morado) y señal lógica procedente del módulo de coincidencias (verde). Puede observarse que una vez abierta la puerta lógica, permite la adquisición por el MCA de las señales analógicas dentro del tiempo de duración de la puerta lógica.

A continuación explicamos paso a paso el esquema mostrado en la [Figure 18](#).

1. La luz que llega a los PMT's produce una señal analógica negativa proporcional a la cantidad de luz que llega al PMT. Esta señal se lleva a un módulo discriminador que crea una señal lógica NIM cuando la amplitud de la señal de entrada es mayor o igual al umbral establecido, que son -38 mV.
2. De las dos señales de cada uno de los PMT's, cogeremos una de ellas y la pasamos por un preamplificador, que integra la señal y le cambia la polaridad. Una vez integrada, podemos pasar la señal por el amplificador para poder modularla y así hacer el tratamiento de datos necesario.
3. El discriminador, cuando le llega una señal analógica, produce una señal lógica. Esta señal se lleva a un módulo de coincidencias que produce otra señal lógica en el caso de que ambas señales que provienen del discriminador lleguen a la vez. Esta señal se lleva a un módulo de puerta lógica, que produce una señal lógica positiva que puede tener una anchura de 0.4 a 4 μ s.
4. Una vez amplificada la señal procedente del PMT, ésta, será adquirida solamente si se cumple la condición de coincidencia, es decir, si se produce un evento debido a la interacción de una partícula en el interior de la fibra, producirá señales coincidentes en el tiempo (dentro de unos pocos ns) en

los dos PMT's, de modo que se detectará en coincidencia confirmando que el evento se trata de una interacción de una partícula con la fibra centelladora. A través de éste método vamos a ser capaces de eliminar la mayor parte de las señales producidas por la corriente oscura de los PMT's. Una vez detectada la coincidencia, el módulo de la puerta lógica envía la señal lógica al MCA, que permite en ese intervalo de tiempo, analizar la señal que proviene del amplificador, y que consecuentemente, debe ser la señal que ha producido un evento de interés en la fibra centelladora. La señal que produce el amplificador se lleva al MCA y el voltaje máximo de cada pulso se guarda en formato de canal, teniendo una correspondencia entre voltaje y canales. En el PC, haciendo uso del programa Oxford, adquirimos el número de eventos producidos por cada canal, obteniendo así un espectro característico de la fuente de radiación, ya que cada fuente radiactiva se desintegra con una energía característica.

5.1.1 Caracterización del módulo de amplificación

Lo primero que debemos hacer antes de tomar medidas es hacer pruebas y entender el funcionamiento del amplificador cuando se le introduce una señal procedente del PMT. El módulo que utilizamos es el Tennelec TC241 que permite ajustar la ganancia de amplificación entre 5 y 750. Se puede ajustar la ganancia con un botón commutador entre 10 y 500 y otro que nos permite hacer un ajuste fino que multiplica la anterior magnitud por un valor entre 0.5 y 1.5, obteniendo el rango de ganancia de amplificación citado anteriormente. Siempre que podamos, utilizaremos el botón commutador con el ajuste fino al mínimo, ya que éste es el que introduce una mayor cantidad de ruido a la salida de la señal para valores altos. Debemos saber que el amplificador, satura a partir de un cierto voltaje máximo. Para estudiarlo, utilizaremos el generador de pulsos Agilent 33220A para pasarle señales que sean idénticas a las que emitiría un PMT, con anchuras que rondan los 14 ns. En la [Figure 22](#) se obtienen las curvas que nos demuestran que, al aumentar la ganancia, cuando al amplificador le entran voltajes altos, satura, esto quiere decir que deja de amplificar y el aumento de la ganancia deja de ser proporcional al voltaje de entrada. Dependiendo de la señal de entrada la relación entre amplitud y ganancia es lineal o no. En cambio, la amplitud máxima de la señal amplificada obtenida es de 1.2 V independientemente de la amplitud de la señal de entrada. Como se puede observar en la [Figure 22](#), para valores de amplitud de entrada superiores a 500 mV la amplificación deja de ser proporcional. Los datos obtenidos son para un tiempo de subida de la señal de 3 μ s, si reducimos el tiempo de subida de la señal del amplificador se obtienen valores de amplificación más altos y la señal gaussiana se hace mas estrecha.

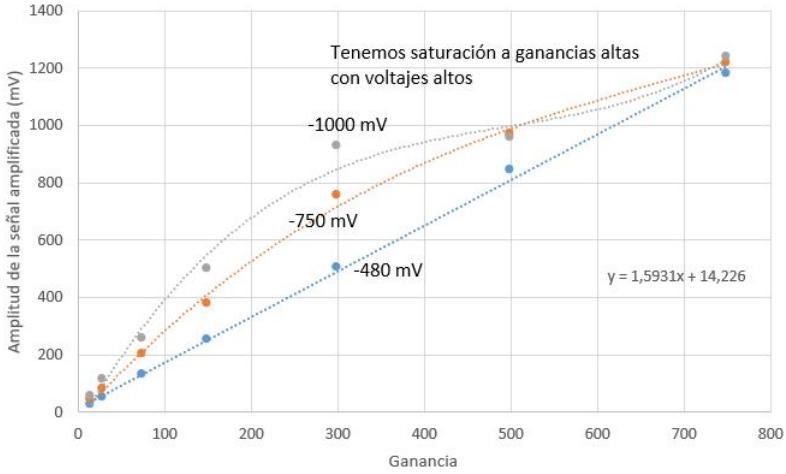


Figure 22: Representación de la señal de salida del amplificador frente a la ganancia del módulo de tres señales de entrada de 480 (azul), 750 (naranja) y 1000 (gris) mV. (Tiempo de subida 3 μ s).

5.1.2 Caracterización del MCA

El analizador multicanal nos permite elegir entre tomar datos con coincidencia, es decir, haciendo uso de la puerta lógica para tomar en ese tiempo la señal amplificada de entrada, o tomar datos sin coincidencia, en el que se registran todas las señales producidas por el amplificador. Efectivamente, para tomar datos de las fuentes radiactivas siempre utilizaremos la coincidencia, pero primero debemos saber cual es el rango de voltajes que admite el MCA y que establece entre los canales 0 y 8191. Cambiamos el montaje y introducimos señales gaussianas idénticas a las producidas con el amplificador con el generador de pulsos. Verificamos en el osciloscopio la amplitud de la señales elegidas en el generador de pulsos. Como el voltaje de salida del generador de pulsos es prácticamente exacto, en el MCA se producen picos correspondientes al voltaje de entrada en diferentes canales conforme aumentamos el voltaje. Por lo tanto variaremos el voltaje de entrada para determinar los canales correspondientes en el MCA. En la [Figure 23](#) se muestra la distribución proporcional obtenida. Es importante recalcar que el amplificador es sensible a la anchura de la señal de entrada, por lo tanto, la calibración se debe realizar con una anchura de la señal lo más parecida a la señal que produce nuestro PMT.

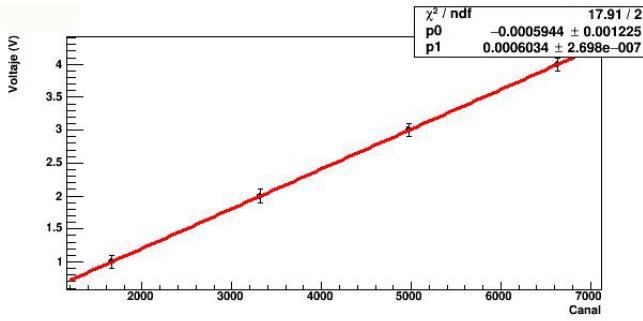


Figure 23: Ajuste lineal entre canales y voltaje de entrada en el MCA. Las barras de error del voltaje han sido multiplicadas por x100.

Como se puede ver, la proporcionalidad entre el voltaje de entrada y su canal correspondiente tiene una dependencia totalmente lineal

$$\text{Voltaje (V)} = 0.000603 \times \text{Canal} + 0.000358$$

Por lo tanto, sabiendo que el voltaje máximo que puede admitir la entrada del MCA es el voltaje correspondiente al máximo de canales, éste es $4.94 \approx 5$ V, entonces ajustaremos la ganancia para que ninguna señal de salida del amplificador pueda superar este umbral y el espectro obtenido no sobresalga del rango de adquisición.

5.2 Montaje y adquisición de datos del prototipo TRI-TIUM

5.2.1 Primera parte del montaje

Siguiendo el esquema utilizado en la [Figure 18](#) hacemos las primeras medidas con una sola fibra a la que le hemos acoplado ambos PMT's, tal y como se puede observar en la [Figure 24](#). Con éste sistema pretendemos medir los eventos de interacción sobre la fibra producidos por partículas procedentes de diversas fuentes radiactivas como el ^{137}Cs , ^{241}Am y ^{60}Co que colocamos encima de la fibra para que las partículas puedan atravesarla y así caracterizar posteriormente cada uno de los espectros obtenidos. Todos las medidas con los fotomultiplicadores se realizarán en el interior de una caja negra que evitará que entre luz.

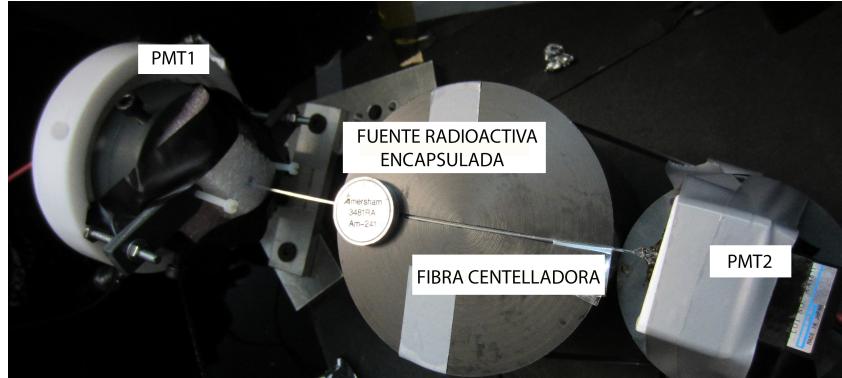


Figure 24: Sistema de montaje para la medición con una sola fibra centelladora acoplada a dos PMT's.

Tenemos que comprobar qué tiempo de subida del pico de la señal de salida del amplificador necesitamos utilizar. Comprobamos la señal de salida del amplificador en cada caso y vemos que con $1\text{ }\mu\text{s}$ la señal es estrecha y hace que el pico máximo sea muy alto, se alcanzan valores superiores a 5 V incluso con la ganancia del amplificador al mínimo y se produce saturación, haciendo que en el espectro haya una acumulación de eventos en los canales máximos. Probamos con la configuración a $6\text{ }\mu\text{s}$ y podemos ver que la señal es muy ancha y la diferencia entre las señales amplificadas es muy pequeña, nos crea un espectro que acumula los eventos en una determinada zona de canales sin distribuirlos. La configuración que más nos interesa es la de $3\text{ }\mu\text{s}$, en la que distribuye los eventos en todo el rango de canales debido a que podemos ajustar la amplificación entre 0 y 5 V.

5.2.2 Segunda parte del montaje

Una vez caracterizado el espectro, posteriormente diseñamos una vasija con PVC que pueda contener una gran cantidad de fibras centelladoras juntas y que a la vez, podamos verter en su interior agua tritiada de forma que las fibras queden totalmente sumergidas en ella excepto sus extremos, los cuales irán acoplados con grasa óptica a los PMT's. El diseño realizado es en forma de "u", donde las fibras se doblarán y se introducirán dentro de la vasija mostrada en la [Figure 25](#). En la [Figure 26](#) mostramos el manojo de fibras debidamente pegadas en los extremos a los conectores, en el que se han logrado introducir un total de 35 fibras. Para pegarlas hemos utilizado pegamento óptico (BC600, de Saint Gobain). Cabe destacar que es importante impregnar bien los extremos del manojo de fibras y dejarlos secar durante varios días para asegurarse de que ha endurecido correctamente antes de pulir el manojo completo. Es importante que la sección de las fibras sea lo más perpendicular posible a la dirección de las fibras para que el acoplamiento entre los extremos y el PMT con la grasa óptica sea perfecto.

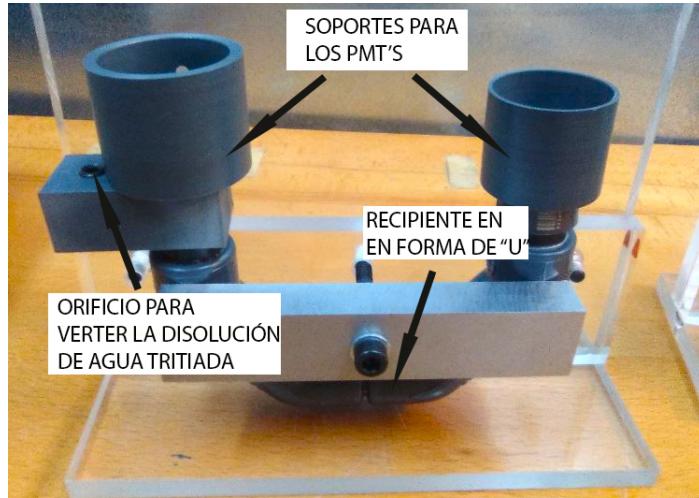


Figure 25: Vasija construida con material de PVC que contiene las fibras y agua hiperpura o agua tritiada según la medición de fondo radioactivo o de la actividad del tritio en agua.

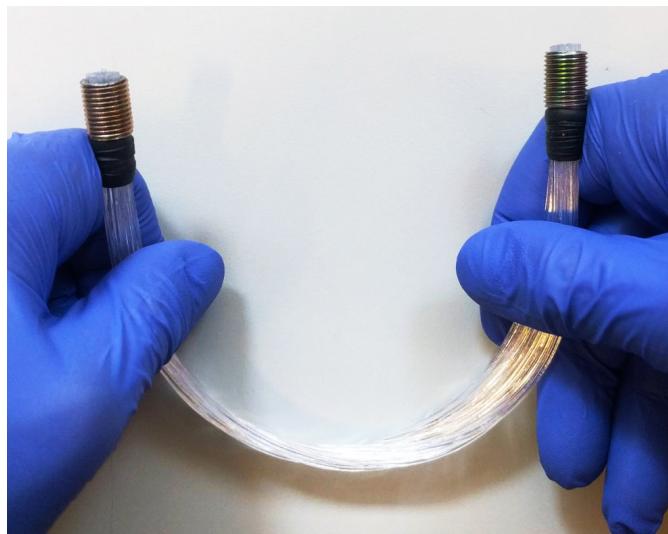


Figure 26: Manojo de fibras pegadas a los conectores que se introduce en la vasija de PVC de la [Figure 25](#).

Una vez tenemos listo el manojo de fibras centelladoras, lo introducimos dentro de la vasija y medimos el volumen total de agua tritiada que necesitaremos verter para que la vasija quede completamente llena. Los PMT's pueden posicionarse primero para poder fijarlos y posteriormente llenar con agua tritiada,

de esta forma, solo queda introducir la vasija en la caja negra y conectar los PMT's a la fuente de alimentación y al discriminador, así, reduciendo el tiempo de exposición del operador a la fuente radiactiva, que es algo que debemos evitar por precaución. El montaje del sistema de adquisición es similar al sistema para una sola fibra centelladora. Lo único que debemos tener en cuenta es la amplificación de la señal, ya que con una fibra, las fuentes radiactivas utilizadas eran muchísimo más energéticas. Recordemos que la cantidad de fotones que se producen en el interior de la fibra es proporcional a la energía que depositan en esta. El ^{137}Cs tiene una transición tipo β^- con una energía máxima de 514 (94.7%) keV y una transición gamma de 662 (85.1%) keV. El ^{60}Co una transición tipo β^- con una energía máxima de 317 keV (99.88%) y una transición gamma de 1173 (99.85%) y 1332 (99.98%) keV. El Tritio produce una sola transición tipo β^- con una energía máxima de 18.6 (100%) keV [9].

6 Resultados

En este apartado distinguiremos los resultados obtenidos con una sola fibra con el primero de los montajes, del montaje con la vasija con 35 fibras. El montaje con una fibra nos sirve para poder hacer un primer ensayo en el que tendremos datos, de una forma mucho más fácil y cómoda en el que podamos hacer cambios mucho más fácilmente que con el prototipo TRITIUM. Cabe señalar que utilizando las fuentes radiactivas encapsuladas, utilizaremos la fibra BCF-12 multiclad, ya que la energía de las emisiones de las fuentes radioactivas utilizadas son mucho más energéticas que para el tritio y son capaces de atravesar el revestimiento de PMMA de la fibra y llegar al núcleo donde depositan su energía, así conseguiremos una mayor recolección de luz. En cambio, para el segundo montaje, hemos decidido utilizar las fibras sin revestimiento de PMMA, ya que la desintegración producida por el Tritio es de tipo beta con una energía aproximada de 18 keV (ver Figure 27), esto hace que no tenga energía suficiente para poder llegar hasta el núcleo.

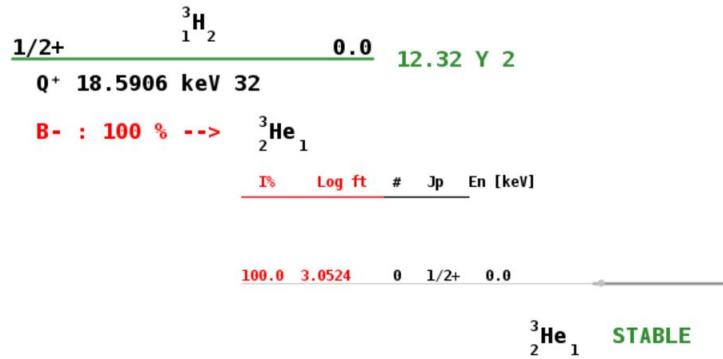


Figure 27: Esquema de desintegración del Tritio (^3H) [10].

Hay diversos estudios sobre la dispersión de los electrones en el PMMA, en la [Figure 28](#) podemos ver una simulación de Monte Carlo en la que se hacen incidir 1000 electrones de 20 keV sobre una lámina de 10 μm . El grosor del revestimiento de PMMA en la fibra es de 30 μm , por tanto, resultaría imposible ver ningún evento que fuese ocasionado por una desintegración procedente del agua tritizada.

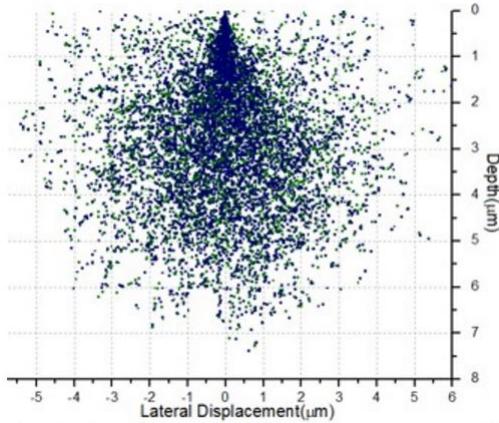


Figure 28: Simulación de la penetración de 1000 electrones con 20 keV de energía sobre el perfil (desplazamiento lateral y profundidad) de una lámina de PMMA de 10 μm [11].

6.1 Resultados con una sola fibra con fuentes radiactivas encapsuladas

Para calibrar y tener una primera idea del funcionamiento del sistema de medición utilizamos una sola fibra ([Figure 24](#)). Colocamos una fuente de ^{137}Cs encima de la fibra y dejamos que se tome el espectro, dependiendo de la actividad de la fuente podemos conseguir ver el frente Compton del espectro de la fuente en horas o días. Es muy importante ajustar bien la ganancia para que el espectro se distribuya por todos los canales sin llegar a sobrepasarlos. Para ello tomamos unos primeros espectros y subimos la ganancia si es necesario para que el pico de mayor energía caiga en los canales superiores. En la [Figure 29](#) se muestra el espectro conseguido durante 8 días de la fuente de ^{137}Cs donde en el eje Y se ha representado el número de eventos por segundo para normalizarlo y poder compararlo con el fondo radioactivo. Tal y como podemos ver en el esquema de la [Figure 27](#), el Tritio se desintegra a ^3He vía β^- , y los electrones se ven muy poco afectados por el “quenching factor”, por lo que prácticamente toda la energía de los electrones (máximo 18.59 keV) se deposita en la fibra. El “quenching factor” es el proceso por el cual una partícula no solo deposita su energía de forma radiactiva, es decir convertida en luz, sino que también lo hace de forma térmica, es decir convertida en agitación molecular, entonces la

cantidad de fotones producida en la fibra centelladora no es equivalente a la energía total ya que la energía térmica no produce centelleo en la fibra. Se ha de tener en cuenta éste factor para partículas cuya densidad de ionización es muy grande como las partículas alpha.

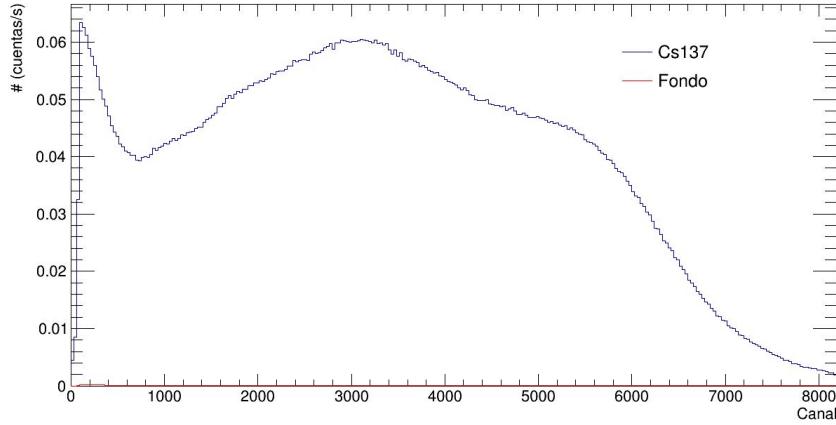


Figure 29: Espectros del ^{137}Cs y del fondo radiactivo normalizados al tiempo de toma de datos (8 y 13 días respectivamente).

En la [Figure 29](#) podemos ver que la toma de fondo es insignificante a comparación del espectro del ^{137}Cs y su sustracción no contribuye para distinguir el espectro característico de la fuente radiactiva. Lo que se puede observar es un solapamiento de las distintas desintegraciones del Cesio, que presenta una transición tipo β^- con una energía máxima de 514 (94.7%) keV que formaría un borde Compton y una transición gamma de 662 (85.1%) keV que formaría otro borde Compton.

6.2 Resultados con el prototipo TRITIUM con agua tritiada

Utilizando el sistema electrónico con la misma configuración tomamos unos primeros datos con el ^{137}Cs para comprobar que el acoplamiento entre las fibras centelladoras y los PMT's permite la colección de luz. En esta parte del experimento recordemos que utilizamos fibras centelladoras sin revestimiento debido a la baja energía de los electrones procedentes de la desintegración del Tritio. En la [Figure 30](#) podemos ver el espectro obtenido del ^{137}Cs .

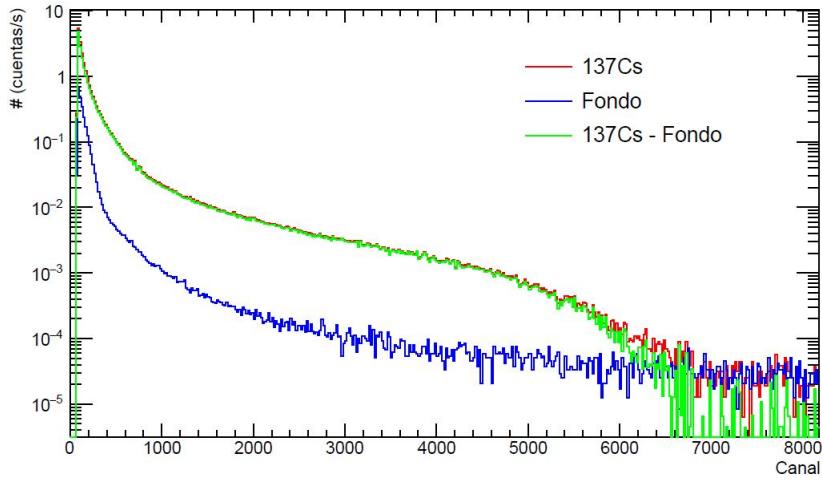


Figure 30: Espectro energético expresado en canales en escala semilogarítmica del ^{137}Cs (rojo), el fondo radioactivo (azul) y el espectro del ^{137}Cs después de la sustracción del fondo (verde).

Tal y como se puede observar, el fondo radioactivo vuelve a ser insignificante y su sustracción no ayuda a distinguir las energías de desintegración que buscamos. A continuación, en la [Figure 31](#) se muestra el espectro de energía obtenido con agua tritiada.

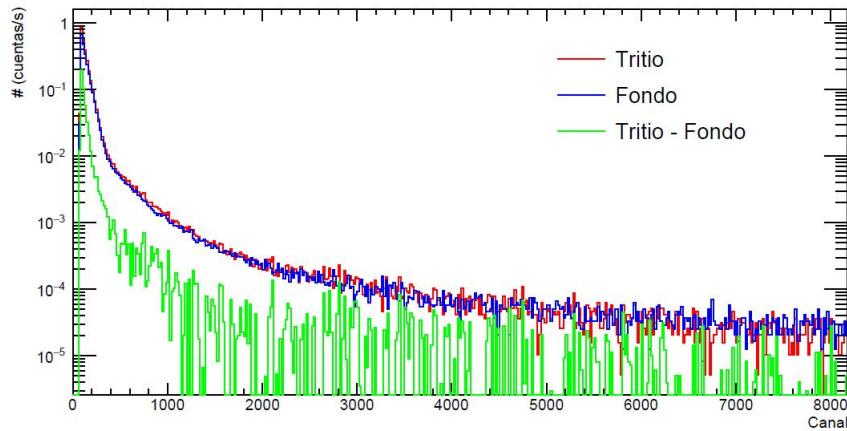


Figure 31: Espectro energético expresado en canales en escala semilogarítmica del Tritio (rojo), el fondo radioactivo (azul) y la sustracción del fondo al espectro del Tritio (verde).

Estos dos espectros se han tomado sin coincidencia debido a que la fibra sin revestimiento no transmite la luz correctamente, esto implica que todas las

señales producidas serán guardadas como si se tratase de un evento y posteriormente restamos el fondo radioactivo eliminando parte de la corriente oscura y el ruido electrónico y radioactivo. Este procedimiento no es tan riguroso como la configuración en coincidencia, dado que todas las señales de bajo voltaje debido al ruido electrónico se acumulan en los canales bajos, y su sustracción nos permite deducir los eventos que, aproximadamente, son debidos a interacciones de partículas en la fibra centelladora. El procedimiento es aproximado puesto que el fondo radioactivo y las medidas con Tritio o ^{137}Cs se toman en momentos diferentes y las condiciones de laboratorio, así como la temperatura, pueden haber cambiado, haciendo que la sustracción de la corriente oscura y fondo radioactivo fuese distinto en cada momento, hecho que reducimos drásticamente cuando se toman medidas en coincidencia. Sin coincidencia, los eventos debidos a interacciones de partículas en la fibra centelladora son aquellos que se producen en la zona mas próxima a los extremos del manojo, dado que ahí la fibra no está doblada, cualquier evento que produzca luz se podrá transmitirla hasta el PMT, hecho que explicaremos a continuación. La fibra esta inmersa en agua, cuyo índice de refracción es $n_{\text{agua}}=1.33$, que comparando con el índice de refracción del revestimiento de PMMA ($n_{\text{PMMA}}=1.49$) se consigue que el ángulo crítico a partir del cual se producen reflexiones internas totales sea de 56.2° . Éste ángulo es menor que el obtenido con las fibras con revestimiento (68.6° , ver [Figure 1](#)), lo que significa que la luz debería transmitirse con mayor eficiencia.

Experimentalmente obtenemos que: sin coincidencia, logramos detectar eventos provenientes de desintegraciones ya que hay una clara diferencia entre el espectro de fondo radiactivo y los espectros tomados con fuentes radioactivas. Un evento de interacción producido en el interior de la fibra centelladora puede transmitirse una pequeña longitud, lo que explica que con la configuración sin coincidencia puede detectar aquellas interacciones producidas en los extremos del manojo de fibras. En cambio, al medir con la configuración con coincidencia, los mismos eventos producidos, no son capaces de transmitirse a lo largo de las dos direcciones de la fibra centelladora y llegar simultáneamente a los dos PMT's. Esto significa, que con las fibras sin revestimiento, solamente vamos a poder detectar los eventos producidos cerca de los PMT's, debido a la pérdida de luz por transmisión de la fibra centelladora. Una de las posibles causas por las que se pueden producir pérdidas es que en la interfaz entre el poliestireno de las fibras y el agua se hayan formado burbujas estancadas de aire que eviten que se produzca correctamente la reflexión, aun así, desconocemos la causa por la que no hay total transmisión de la luz. Lo que abre el tema crucial de investigación a continuación de este trabajo: elucidar las condiciones óptimas de generación de luz y su transmisión a lo largo de las fibras sin revestimiento para la medición del tritio en agua hiperpura. Esto será el objeto de mis investigaciones futuras como trabajo de Master para el proyecto TRITIUM.

7 CONCLUSIÓN

En el actual trabajo de fin de grado hemos hecho en primer lugar un exhaustivo estudio sobre las fibras centelladoras. En segundo lugar hemos montado un sistema de medición con módulos NIM que nos permite recoger la luz de las fibras centelladoras, originada por la interacción de partículas ionizadas, para su posterior tratamiento. Finalmente hemos diseñado y montado el prototipo del detector del proyecto TRITIUM, que nos permite introducir una gran cantidad de fibras para mejorar la recolección de luz y así poder detectar la radiación producida por el Tritio disuelto en agua.

1. Hemos estudiado los tipos de fibras centelladoras adecuadas para el proyecto TRITIUM y la forma en la que transmiten la luz, las características del material del núcleo y de su revestimiento. Hemos diseñado una guillotina que nos permite cortar de forma más eficiente las fibras a una longitud determinada y luego el proceso de pulir sus extremidades para el acople a un fotosensor. Después de una gran cantidad de pruebas, hemos decidido que pulir las fibras centelladoras es la forma más eficaz de conseguir que las terminaciones queden perfectas y totalmente transparentes a la luz. Consiguentemente hemos adecuado un protocolo para pulir las fibras individualmente, utilizando un conector comercial tipo SC/FC de la empresa Fiberco I.I., S.L[12], diseñado para fibras ópticas con revestimiento y recubrimiento el cual hemos rectificado para que pueda acoplarse a nuestras fibras sin recubrimiento. Éste conector se acopla a un disco de pulido que mantiene la fibra perpendicular a la superficie del papel de pulido durante el proceso. En el caso de tener que pulir un manojo de fibras, en primer lugar tenemos que pegar los extremos con pegamento óptico de Saint Gobain, quedando bien impregnadas. Posteriormente pulimos el conjunto completo, utilizando guantes, con la hoja de pulido más gruesa para igualar las imperfecciones de algunas fibras que sobresalen y a continuación hacemos el mismo procedimiento con el resto de hojas de pulido, pero sin necesidad de insistir tanto, vamos comprobando el resultado durante el proceso.
2. Hemos montado un sistema de adquisición de datos que nos permite recoger la luz de la energía depositada por partículas ionizantes en las fibras centelladoras y convertirlo en una señal proporcional medible que nos permita su tratamiento. Amplificamos la señal proveniente de los PMT's para que las señales de salida del amplificador se encuentren entre el rango de 0 y 5 V. Para hacer unas primeras pruebas, hicimos uso de fuentes radioactivas que aceleran el proceso de interacción de partículas con la fibra centelladora. Hemos comprobado nuestro montaje electrónico con una sola fibra centelladora, luego hemos acoplado el manojo de fibras del prototipo Tritium a los dos PMTs para el estudio de la señal del Tritio en agua hiperpura.
3. Diseñamos y montamos en el taller de mecánica del IFIC una vasija en

forma de “U” que nos permita contener una gran cantidad de fibras y que al mismo tiempo puedan estar sumergidas. Una vez montado el prototipo, tomamos el espectro del fondo radioactivo (solamente con agua hiperpura) y el espectro del agua tritiada (agua hiperpura disuelta con Tritio) y comprobamos que con la configuración en coincidencia no recibimos la luz de ninguna interacción, solamente podemos tomar el espectro con la configuración sin coincidencia. Esto significa que hay pérdida de luz con las fibras sin revestimiento, y que solo son las interacciones que ocurren cerca de los PMT’s las que detectamos. Para el futuro hay que profundizar el estudio de producción y transmisión de luz del manojo sin revestimiento. Es necesario entender porque no se transmite la luz a los extremos del manojo, a pesar de que la interface de agua hiperpura debería favorecerlo. Esto será parte de trabajos futuros más detallados sobre el prototipo TRITIUM

In this work of end of graduation we have first performed an exhaustive study on scintillation fibers. We have set up an experimental system for taking data with scintillation fibers and radioactive sources. We have used for that NIM electronic modules, that allow us to collect the light from the scintillating fibers, originated by the interaction of ionized particles, for their subsequent treatment. Finally we have designed and set up the prototype of the detector TRITIUM project, which allows us to introduce a large amount of fibers to improve the collection of light and, thus, detect the radiation produced by Tritium dissolved in water.

1. *We have studied the types of scintillating fibers and how the light is transmitted, the characteristics of the core material and its clad. We have designed a guillotine that allows us to cut the fibers more efficiently with a determined length. After several trials and testing, we have found that polishing the scintillating fibers is the most effective way to get a perfect finishing stage for an end of fibers totally transparent to the light. Accordingly, we have adapted a protocol for polishing the fibers individually, using a commercial SC / FC connector from Fiberco II, SL [12], designed for optical fibers with cladding and coating which we have rectified so that it can be coupled to our fibers without coating. This connector is attached to a polishing disc which holds the fiber perpendicular to the surface of the polishing sheet during the process. In the case of the bunch of fibers, first we have to glue the ends with optical glue of Saint Gobain, being well impregnated. Later we polished the complete set, using gloves, with the thicker polishing sheet to equalize the imperfections of some fibers that protrude and we proceeded with the same procedure with the rest of polishing sheets.*
2. *We have set up a data acquisition system that allow us to collect light from the energy deposited by ionizing particles in the scintillating fibers and convert it into a measurable signal that allows us the data treatment. We amplify the signal coming from the PMT to obtain output signals from the amplifier between 0 and 5 V. This process has brought us many problems because it isn't very common to have coincidence events and we need to*

verify the maximum of the channels reached in the MCA to be able to rectify the gain of the amplifier so that the signal with the maximum voltage corresponds to the maximum of channels. To make a first test, we use the radioactive sources that accelerate the process of the interaction of particles with the scintillating fiber to make approximate calculations that allow us to interpret the data that we obtained with the prototype of the TRITIUM detector.

3. *We have designed and assembled, in IFIC's mechanics workshop, a Tritium prototype vessel with a "U" form, that allows us to contain a large number of fibers and at the same time can be submerged in water. Once the prototype is assembled, we took the spectrum of the radioactive background (only with hyperpure water) and the spectrum of tritiated water (hyperpure water dissolved with Tritium). We observed that with the configuration of the PMTs in coincidence, we do not observe coincident events. We then took only events from one PMT only, without coincidence. This indicates that there is a loss of light in the fibers without clad, and that we detect only events near the individual PMT's. This investigation of light transmission in no-clad fibers will be addressed in the near future for the optimization of the design of the TRITIUM prototype.*

References

- [1] K.J. Hofstetter. Development of aqueous tritium effluent monitor. 1992.
- [2] LTD. Kuraray CO. Plastic scintillating fibers.
- [3] Saint-Gobain. It is what is inside that counts. 2016.
- [4] Thorlabs. Guide to connectorization and polishing optical fibers.
- [5] G. Haefeli C. Joram and B. Leverington. Scintillating fibre tracking at high luminosity colliders. *IOPscience*, page 3, 2015.
- [6] Saez-Rodriguez David; Kristian Nielsen; Ole Bang; David John Webb. Simple room temperature method for polymer. 2015.
- [7] Law. S; Harvey. J; Kruhlak. R; Song. M; Wu. E;. Cleaving of microstructured polymer optical fibres. *Elsevier*, 2005.
- [8] William R Leo. Techniques for nuclear and particle physics experiments. *A How-to Approach*.
- [9] <https://www.nucleonica.com/>.
- [10] LiveChart of Nuclides. <https://www-nds.iaea.org/>.
- [11] <http://www.pbeamwriting.com/theory.php>.

- [12] S.L. Fiberco I.I. www.fiberco.es. *High Reliability on Optical Fibre Connectivity.*