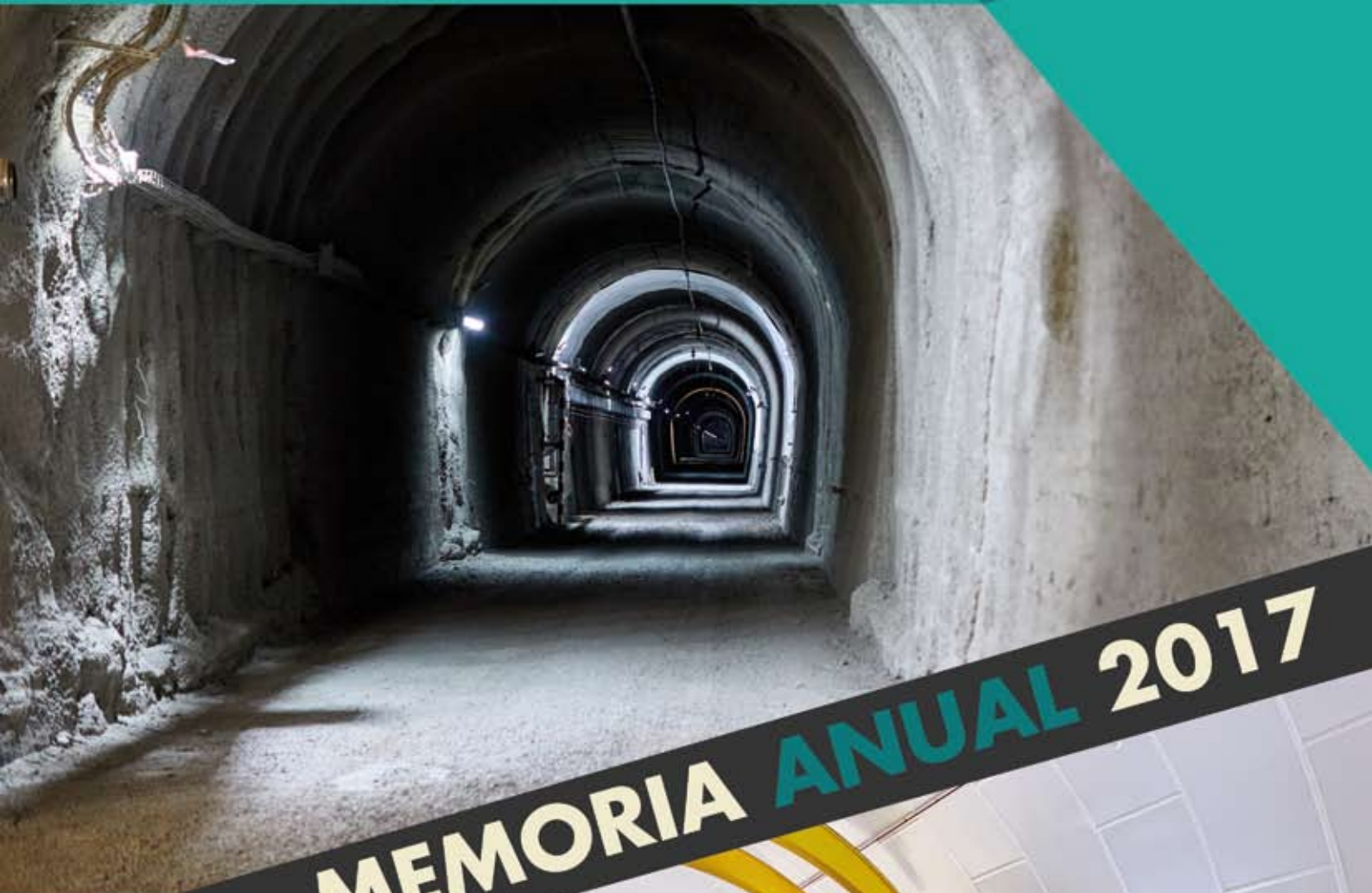




LSC

Laboratorio Subterráneo de Canfranc



# MEMORIA ANUAL 2017





## EDICIÓN

Aldo Ianni

Yolanda Labarta

## FOTO DE PORTADA

Tunel Ferroviario y Hall A

(Fotos: J. Larrea)

*Gracias a todos los que han contribuido  
a la realización de este proyecto  
editorial*



*Laboratorio Subterráneo de Canfranc*

Paseo de los Ayerbe, s/n

Canfranc Estación

22880 (Huesca)

ESPAÑA

<http://www.lsc-canfranc.es>

Tel: +34 974 373 474



## ÍNDICE

PRESENTACIÓN DEL DIRECTOR .....	3
IN MEMÓRIAM.....	5
1. INTRODUCCIÓN .....	9
2. ACTIVIDAD DEL LSC DURANTE EL 2017.....	12
3. RECOPIACIÓN DE EVENTOS 2017 .....	16
4. CAPTURAS.....	18
5. ANAIS.....	20
6. ARDM.....	24
7. NEXT.....	32
8. BIPO.....	44
9. SUPERKGD.....	46
10. GEODYN .....	53
11. GOLLUM.....	57
12. TREX-DM.....	59
13. ETSEC.....	62
PUBLICACIONES EN PRENSA 2017.....	66
ÓRGANOS DE GOBIERNO.....	69
COMITÉS ASESORES .....	69
AGRADECIMIENTOS.....	70



## PRESENTACIÓN DEL DIRECTOR

El Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) es el segundo laboratorio subterráneo a gran profundidad más grande de Europa. Lo gestiona un Consorcio compuesto por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza. El LSC pertenece a la red nacional de las llamadas ICTS (Infraestructuras Científicas y Técnicas Singulares).

El LSC ofrece a investigadores de todo el mundo la oportunidad de desarrollar ciencia a nivel mundial en materia de física fundamental y astrofísica, además de geología, biología y ciencias medioambientales, en su ubicación de características únicas. De hecho, las instalaciones subterráneas del LSC, aisladas de la radiación cósmica natural, abren la posibilidad de descubrir sucesos que ocurren en una probabilidad muy baja. En la actualidad, el programa científico principal del LSC se centra en la detección de la materia oscura y la física de neutrinos, esto es la desintegración doble beta de los neutrinos. Aunque además el LSC desarrolla también actividades relacionadas con la geofísica y la biología.

Seis complejas infraestructuras experimentales, propuestas por grupos de investigadores procedentes de universidades y laboratorios internacionales, se encuentran ya en funcionamiento o bajo construcción, aunque todavía hay disponible espacio subterráneo para albergar nuevas propuestas.

También se encuentran disponibles en el edificio sede en el exterior laboratorios oficinas y salas de reuniones.

En la actualidad se está preparando además una nueva sala de divulgación que estará ubicada en "La Casa de los Abetos", edificio del LSC que se encuentra en el exterior frente al edificio sede.

El LSC ofrece a día de hoy los siguientes servicios a sus usuarios:

- Medidas de Radiopureza de Materiales con detectores de Germanio de alta pureza (ULBS).



- Servicio de Fabricación de piezas de cobre de gran radiopureza utilizando técnicas de electroformación (CES).
- Un laboratorio equipado con un espectrómetro de masas con plasma de acoplamiento inducido (ICP-MS).
- Sala blanca subterránea clase 1.000 (ISO 6) y clase 10.000 (ISO 7) (CRS).
- Dos auditorios para reuniones institucionales con capacidad para unas 95 personas cada uno.

Estaremos encantados de recibir tanto nuevas propuestas científicas, que pueden ser ubicadas en el espacio subterráneo que tenemos todavía disponible, cómo solicitudes para el uso de los servicios. El Comité Científico Internacional Asesor del LSC estudiará las propuestas científicas recibidas, aconsejando sobre ellas al director y basándose únicamente en la excelencia científica.

El fin del LSC es el de aportar ciencia a nivel mundial y proporcionar accesibilidad a nivel internacional a una infraestructura de naturaleza única en el campo de la investigación.

***Esta Memoria recoge la ciencia y actividad experimental llevada a cabo durante el 2017. Está basada en los informes anuales presentados por cada experimento, que han sido editados por el LSC. Cualquier dato inexacto introducido en la edición es responsabilidad del LSC.***

**Aldo Ianni**  
**Canfranc Estación, Abril 2018**





## IN MEMÓRIAM

(Por el personal del LSC e investigadores del GIFNA)

El pasado mes de agosto de 2017 el Profesor. José Ángel Villar, Director asociado del LSC, falleció tristemente dejando un gran vacío en el LSC imposible de llenar.

José Ángel Villar Rivacoba era el portavoz e investigador principal del experimento ANAIS y catedrático del Área de Física Atómica Molecular y Nuclear del Departamento de Física Teórica de la Universidad de Zaragoza.

Licenciado y Doctor en Física (Doctorado supervisado por Julio Morales) por esta Universidad, se unió al grupo de Física Nuclear y de Partículas de Ángel Morales y participó en los primeros esfuerzos para construir una instalación subterránea en España, explorando diferentes localizaciones. El túnel de Somport en Canfranc, bajo los Pirineos, albergó el primer experimento subterráneo dedicado al estudio de la desintegración doble beta del Ge en torno a 1985-86, iniciándose la trayectoria de unas instalaciones que pronto se convertirían en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC).



Con el grupo de la Universidad de Zaragoza participó en experimentos relevantes en el contexto internacional en el campo de la búsqueda de fenómenos poco probables, la desintegración doble beta y la física de neutrinos (IGEX, Kr-78), la búsqueda de la materia oscura utilizando detectores de germanio (COSME, IGEX-DM), NaI (DM32, ANAIS) y bolómetros (ROSEBUD) y también búsquedas de axiones (CAST, IAXO).



El experimento IGEX fue el experimento más relevante de los llevados a cabo en el LSC en los años 90.

Co-lideró el grupo de Física Nuclear y de Astropartículas de la Universidad de Zaragoza con Julio Morales desde el 2003 y lo lideró en solitario desde el 2009 tras el fallecimiento de Julio.

Supervisó 6 Tesis de Doctorado, fue el líder de más de 40 proyectos de investigación en Planes



Nacionales y es el coautor de más de 150 publicaciones científicas.



Estaba muy comprometido con el establecimiento y puesta en marcha de las instalaciones del nuevo Laboratorio Subterráneo de Canfranc y fue su Director Asociado desde el 2007 hasta el 2017.

Estaba muy orgulloso del LSC y disfrutaba enormemente guiando a los visitantes por sus instalaciones.



También estaba muy involucrado en la gestión científica a nivel nacional e internacional:

- Era el coordinador de la Red Nacional de Astropartículas (RENATA)
- Miembro del Comité Ejecutivo del Centro Nacional de Física de Partículas (CPAN)
- Miembro de la asamblea general y Secretario Adjunto del Consorcio ApPEC
- Miembro de la Asamblea de Consejo y Ciencia de ILIAS
- Consejero de los Ministerios responsables de la Ciencia y Tecnología en España, el Gobierno de Aragón y diversas agencias de evaluación.

Fue miembro de comités organizadores de varias conferencias internacionales relevantes. Cabe destacar la contribución a la serie de conferencias TAUP, el Meeting Internacional en Física Fundamental (Winter Meetings), y la organización de la conferencia NEUTRINO 92 en Granada.

También le encantaba participar en actividades de divulgación de cualquier índole: conferencias





para estudiantes de secundaria y para el público en general, colaboraciones frecuentes en la Universidad de la Experiencia, para personas de la tercera edad y era un colaborador muy conocido en la prensa local. Incluso preparo un documental científico sobre la Radioactividad.

José Ángel era altamente reconocido como científico pero nosotros le recordaremos sobre todo por su calidad como persona, su buen humor y su eterna sonrisa. Le echaremos mucho en falta.





# I INTRODUCCIÓN

El LSC es un laboratorio subterráneo a gran profundidad a nivel mundial diseñado para la investigación de la física de neutrinos, la materia oscura y los fenómenos inusuales dentro de la física. A día de hoy, el LSC es el segundo laboratorio a gran profundidad más grande de Europa. Estamos trabajando arduamente para crear sinergias con otras infraestructuras similares con el fin de poder establecer un intercambio de experiencia y proponer intereses comunes.

En el marco de la física sub-atómica, los investigadores han desarrollado una descripción teórica sobre las partículas elementales de la materia y las fuerzas básicas de la Naturaleza denominada Modelo Estándar (MS). Se ha probado con creciente precisión todas sus predicciones en las energías que son alcanzables con los aceleradores. Un elemento fundamental que faltaba, el bosón de Higgs, fue descubierto en el CERN en el 2012. Laboratorios subterráneos como el LSC, proporcionan información científica que es complementaria a aquella obtenida por laboratorios con aceleradores. De hecho, los primeros elementos de la física más allá del modelo estándar se obtuvieron mediante experimentos subterráneos, cómo las oscilaciones de neutrinos.

La ciencia que se está llevando a cabo en laboratorios subterráneos como el LSC está creciendo en interés en todo el mundo. Existe una gran competencia a nivel internacional con nuevas propuestas de infraestructuras subterráneas. No obstante, dicha competencia puede dar lugar en el futuro a una colaboración mundial para alcanzar la sensibilidad máxima para la detección de procesos inusuales.

Es por ello que el LSC está abierto a colaborar con infraestructuras de similares

características, en particular, con el LNGS en Italia, Boulby en RU, y SNOLab en Canadá.

Los laboratorios subterráneos se dedican a la búsqueda de fenómenos, nucleares y sub-nucleares extremadamente inusuales, tal como la desintegración doble beta sin neutrinos y las interacciones de la materia oscura. Dicha búsqueda necesita de un ambiente de muy bajo fondo radioactivo. No podemos detectar las señales de una desintegración nuclear extremadamente inusual en presencia de un alto fondo de radioactividad natural, que puede ser medido en la superficie. Este “ruido” de fondo es debido a los rayos cósmicos (ver Fig. 1.1), originado por los protones cósmicos al golpear núcleos de nitrógeno u oxígeno en la capa superior de la atmosfera. La interacción de los protones provoca una cascada de partículas secundarias. Los muones,  $\mu$ , y neutrinos,  $\nu$ , son los más penetrantes de dichas partículas. Los muones alcanzan la superficie de la Tierra con un flujo equivalente a unos 2 muones/cm<sup>2</sup>/segundo.

La ubicación del LSC a 800 metros bajo tierra (equivalente a unos 2400 metros en agua) está excavada entre el túnel carretero de Somport y un túnel ferroviario ahora abandonado de unos 8 km de longitud en la frontera entre España y Francia. A esa profundidad, bajo el Monte Tobazo cerca de la localidad de Canfranc en el Pirineo Aragonés, el flujo de rayos cósmicos se reduce en un factor de sesenta mil. Por lo tanto, el reducido flujo cósmico de muones permite la búsqueda de procesos muy poco probables.

Únicamente sobre el 5% de la materia que existe en el Universo es visible. El resto es de naturaleza desconocida y es lo que se denomina como materia oscura. El entendimiento de la naturaleza de la materia

oscura es un objetivo fundamental de la ciencia moderna. El LSC contribuye a este esfuerzo internacional.



*Fig. 1.1: Simulación de una cascada de rayos cósmicos sobre el Monte Tobazo*

Hoy en día sabemos que los neutrinos tienen muy poca masa. Una explicación natural para el diminuto tamaño de la masa del neutrino requiere que este sea una partícula de Majorana. Una partícula de Majorana tiene la propiedad de ser su propia antipartícula. Si los neutrinos son partículas de Majorana se trasgredirá un parámetro fundamental para la ley de conservación, el número de leptones. En el MS se conserva el número de leptones. La búsqueda de la desintegración doble beta sin neutrinos puede probar que los neutrinos son partículas de Majorana y que el número de leptones no se conserva. La trasgresión del número de leptones puede estar relacionada con la asimetría materia-antimateria del Universo. Una vez más el LSC contribuye a este objetivo de investigación internacional.

En el LSC estas actividades de investigación se están llevando a cabo a través de diversos detectores construidos por colaboraciones internacionales. En particular, en el LSC hay dos experimentos en funcionamiento que investigan la búsqueda directa de materia oscura, ANAIS con centelleadores de NaI(Tl) y ArDM con argón líquido.

Un nuevo proyecto denominado TREX-DM, sobre la detección directa de la materia

oscura con argón y neón en una cámara de alta presión TPC (cámara de proyección temporal), está siendo instalado en el Hall A.

El demostrador de un experimento sobre la desintegración doble beta sin neutrinos, NEXT-NEW, está en funcionamiento así como un equipo de pruebas, BiPo, para el experimento SuperNEMO planificado en el laboratorio de Modane, Francia.

El proyecto CROSS para la búsqueda del decaimiento doble beta sin neutrinos con un bolómetro basado en telurio o molibdeno se encuentra en preparación en el Hall B.

Otros sectores científicos pueden beneficiarse de la ubicación única de las instalaciones subterráneas del LSC. Se pueden realizar investigaciones de geodinámica en el LSC con el objetivo de medir y estudiar pequeños cambios en la contracción de la roca en la profundidad de la montaña producidos por leves sucesos sísmicos o tele-sísmicos. La alta sensibilidad que se obtiene bajo tierra se debe a una reducción significativa de actividad humana y atmosférica que está presente en la superficie. El LSC está equipado con una infraestructura geofísica denominada GEODYN. GEODYN es un observatorio y cubre el espectro geodinámico en su totalidad, desde la sismicidad más cercana a las deformaciones tectónicas pasando por las mareas terrestres o la nutación del núcleo terrestre. Esta instalación tiene



*Fig. 1.2: El Túnel Ferroviario*

tres componentes: una estación sísmica, interferómetros láser y una estación GNSS externa. Tanto la estación sísmica como los interferómetros se encuentran instalados bajo tierra. El proyecto ETSEC, que pretende estudiar el ruido Newtoniano en el marco de la detección bajo tierra de ondas gravitacionales, se encuentra tomando datos. ETSEC, tiene sensores sísmicos colocados a lo largo del túnel ferroviario (cuatro) y otros dos en una de las galerías entre el túnel ferroviario y el túnel carretero.

Además, el LSC y el largo túnel ferroviario (ver Fig. 1.2) ofrecen la posibilidad de llevar a cabo estudios en microbiología para, por ejemplo, llegar a entender qué procesos regulan el flujo de energía para la vida subterránea. El proyecto GOLLUM del LSC está interesado en la identificación y caracterización de las comunidades macrobióticas que habitan en una variedad de rocas a lo largo del túnel ferroviario.

En conclusión, el LSC es una infraestructura científica multidisciplinar a nivel mundial con 1600 m<sup>2</sup> de superficie y un volumen de 10000 m<sup>3</sup> en el laboratorio subterráneo equipado con un número de instalaciones que dan servicio a actividades de investigación llevadas a cabo por colaboraciones internacionales. La infraestructura principal subterránea, denominada LAB2400, se divide en Hall A (Fig. 1.3), el área experimental de mayor superficie, y Hall B. El resto de las infraestructuras se denominan LAB2500 y LAB780 respectivamente. En el LSC colaboraciones internacionales llevan a cabo sus investigaciones en la frontera entre la física de partículas y la física de astropartículas. Una posible mejora del LSC en años venideros se podría producir de llevarse a cabo una nueva excavación para construir una infraestructura para astrofísica nuclear o un tanque de agua instrumentado, este último actuaría como un veto activo de muones para un experimento de próxima generación.



Fig. 1.3: Hall A en el LSC (2017)

## 2 ACTIVIDAD DEL LSC DURANTE EL 2017

Los siguientes experimentos han llevado a cabo actividades en el LSC durante el 2017: ANAIS y ArDM (experimento reconocido por el CERN) en materia oscura. NEXT-NEW (NEXT100 demostrador, experimento reconocido por el CERN) en física de neutrinos y GEODYN y ETSEC en geofísica. Otros dos proyectos, que son auxiliares de experimentos en otros laboratorios, han estado en funcionamiento: BiPo para la propuesta SuperNEMO en el laboratorio LSM cerca de Modane en Francia y SUPERKGd para el experimento SuperKamiokande en Japón. También se han llevado a cabo trabajos de preparación para el experimento CROSS sobre el decaimiento doble beta sin neutrinos con bolómetros basados en telurio y molibdeno.

Además, el nuevo experimento TREX-DM está a punto de ser instalado en el Hall A (Ver Fig. 2.1). TREX-DM consta de una TPC de alta presión encapsulada en una vasija de cobre y rellena con menos de 1kg de argón (empobrecido en  $^{39}\text{Ar}$ ) o neón para la búsqueda de interacciones de la materia



Fig. 2.1: Limpieza de plomo en preparación de la instalación de TREX-DM en el Hall A

oscura. Se han llevado a cabo trabajos de evaluación de riesgos para TREX-DM para poder proceder con la puesta en marcha y funcionamiento tan pronto se encuentre instalado.

La infraestructura GEODYN consta de tres componentes: una estación sísmica, interferómetros láser y una estación GNSS externa. La estación sísmica y los interferómetros láser están instalados en el subterráneo. La estación sísmica está equipada con un acelerómetro Titán y un sismómetro Trillium 240s. Los interferómetros láser consisten en dos tubos de 70 m de longitud al vacío orientados ortogonalmente. El observatorio LSC GEODYN ha sido integrado en el EPOS (European Plate Observing System), que fue aprobado por la Hoja de Ruta ESFRI en el 2008. El interferómetro ubicado en el LAB780 (Fig. 2.2) fue puesto de



Fig. 2.2: Interferómetro en el Lab780

nuevo en funcionamiento en el 2016. Ambos interferómetros han estado tomando datos durante el 2017.

Dado el perfil de la montaña en el LSC, se espera que el flujo de muones bajo tierra muestre una distribución angular. Para poder estudiar esto, se instaló un detector de muones que operó en el Hall A durante más de un año. Más adelante, el detector fue trasladado al LAB2500 donde ha seguido tomando datos un año más. Dichos datos y resultados han sido documentados en una publicación

Se han llevado a cabo medidas tomadas con un centelleador CLYC en el Hall A (Fig. 2.3). Esta actividad, denominada CLYC-N, pretende hacer de un centelleador CLYC un detector para monitorizar neutrones radiogénicos en laboratorios subterráneos. Este trabajo se lleva a cabo en colaboración con el CIEMAT.



Fig. 2.3: Detector CLYC-N en el Hall A

El servicio ULBS del LSC ha estado en funcionamiento desde el 2010 en el Hall C del LAB2400. El ULBS ofrece una instalación de alta calidad en la toma de medidas para los experimentos. En la actualidad se encuentra equipada con siete detectores de Germanio de Alta Pureza (HPGe) tipo p coaxial (Fig. 2.4). Cada detector está protegido por un revestimiento de 20 cm de plomo de baja contaminación en  $^{210}\text{Pb}$ . Una capa interna de cobre OFHC completa la protección. Durante el 2017 el ULBS ha llevado a cabo

análisis de radiopureza para los experimentos en funcionamiento en el LSC. Además, se ha completado la caracterización de un detector SAGe y esta se ha compartido con su proveedor para aumentar la sensibilidad del dicho aparato que será utilizado en el LSC. Este trabajo se encuentra en progreso.



Fig. 2.4.: Detectores HPGe en el Hall C

El servicio CES del LSC es una instalación única entre los laboratorios subterráneos en Europa.

Dicho servicio ha recibido interés por parte de varios grupos científicos con el objeto de llevar a cabo investigaciones para comprender la contaminación superficial debida al  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{210}\text{Po}$ , y para caracterizar las propiedades del cobre electroformado para su uso a baja temperatura en bolómetros. Durante el 2017 se ha desarrollado una actividad con el objetivo utilizar la instalación para estudiar la contaminación externa del cobre electroformado. Este trabajo se ha desarrollado en colaboración con la Jagiellonian University en Krakow.

Se han tomado medidas medioambientales (radón, temperatura, humedad, presión atmosférica, contaminación radioactiva del agua) en colaboración con el Laboratorio de Bajas Actividades (LABAC) de la Universidad de Zaragoza tanto en el laboratorio subterráneo como en las instalaciones exteriores del LSC.

Se realizaron dos reuniones con los GLIMOS

durante el 2017 con el fin de revisar los procedimientos en materia de seguridad e interaccionar entre los usuarios y el personal del LSC.

El LSC cuenta con un sistema de monitorización para el estudio de la deformación de la roca bajo tierra. En particular, el LAB240 está equipado con un sistema de fibras ópticas que monitorizan la deformación de la bóveda, que podría ocurrir en una instalación bajo tierra. Dichas fibras ópticas se encuentran ubicadas en 10 localizaciones: 4 en el Hall A, 2 en el pasillo, 1 en el Hall B y 3 en la zona exterior de la entrada principal. Además, se está realizando una monitorización mensual de las convergencias (distancia entre puntos concretos) por medio de un aparato de cuerdas calibradas en ciertos puntos específicos. En el 2017 se ha instalado un nuevo sistema para monitorizar las grietas en el suelo del Hall B.

Seguidamente informamos sobre las nuevas infraestructuras y mejoras llevadas a cabo en el 2017 en el LSC.

La infraestructura del LSC ha sido mejorada con un detector de radón con una sensibilidad del orden de  $1\text{mBq/m}^3$ . Dicho detector está instalado en el Hall A en una nueva plataforma construida cercana a la entrada del mismo. El detector se encuentra en proceso de instalación. Éste será utilizado para monitorizar el aire libre de radón producido por el sistema de reducción de radón (ver Fig. 2.5) y para monitorizar la contaminación de radón en piezas sensibles para NEXT, ArDM, BiPo y TREX-DM. El detector de radón ha sido puesto en funcionamiento y calibrado. Se ha instalado una línea de distribución para entregar aire libre de radón al interior blindaje del experimento NEXT-NEW.

El Sistema de monitorización (Slow Control) ha sido renovado para poder mejorar el interfaz de las alarmas generales SCADA, para diseñar e instalar una base de datos y



Fig. 2.5: Sistema de reducción de radón

para incluir algunos parámetros del edificio externo.

También se incluyó un sistema de medición de ancho de grietas instalado en diferentes puntos del laboratorio, principalmente en el Hall B. Dicho sistema cuenta con 5 puntos de medida en el Hall B y en el pasillo. Con este sistema, el laboratorio controla el movimiento de diversas grietas en ambos ejes.

También se comenzó la instalación de un nuevo sistema de detección de incendios en los Halls A y B. Se trata de un nuevo sistema de aspiración. Durante el 2017 se instalaron las tuberías para dicho sistema en ambos Halls. La instalación del mismo se concluirá en el 2018.

El LSC ha ampliado sus prestaciones con la adquisición de un nuevo instrumento, un espectrómetro de masas con plasma de acoplamiento inducido (ICP-MS) para realizar medidas de radio pureza. El ICP-MS ha sido instalado en el edificio sede del LSC (Fig. 2.6).



Fig. 2.6: ICP-MS en el Laboratorio de Química del Edificio Sede





Fig. 2.7: Detector de muones en La Casa de los Abetos

Tanto los detectores CLYC-N como el ICP-MS y el detector de Radón, instalado en el Hall A, han sido cofinanciados en un 50% con cargo al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) dentro del Programa Estatal de Fomento a la Investigación Científica y Técnica de excelencia en el marco de el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación.

Un edificio conocido como “La Casa de los Abetos” fue cedido al LSC en el 2015. Dicho edificio se encuentra ubicado frente al edificio sede del LSC en Canfranc Estación. Durante el 2017 la nueva sala de divulgación en La Casa de los Abetos fue casi completada y se equipó con un detector de muones (Fig. 2.7), un detector para medir la vida media de los muones cósmicos, y con pantallas de divulgación sobre el laboratorio subterráneo.

El número total de usuarios en el 2017 ha sido 281, de 20 países diferentes.

El LSC también tiene un programa de visitas. Durante el 2017 se han registrado más de

2000 visitantes. En la Fig. 2.9 se muestra la gráfica del número de visitantes desde que comenzaron las visitas en los últimos 10 años.

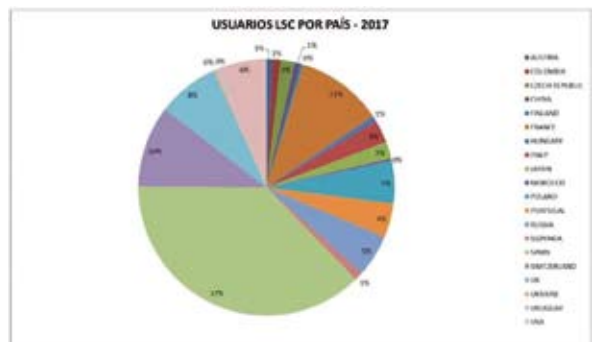


Fig. 2.8: Usuarios del LSC por país en el 2017



Fig. 2.9: Datos del número de visitantes al LSC en los últimos 8 años

## 3 RECOPLIACIÓN DE EVENTOS 2017



### **Workshop en Decaimiento Doble Beta (7-8 de Febrero 2017)**

El Director del Laboratorio Subterráneo de Canfranc convocó un taller sobre el Decaimiento Doble Beta que tuvo lugar en las instalaciones del LSC los días 7 y 8 de Febrero. Dicho taller tenía un doble objetivo, por un lado la revisión del problema del fondo de radón en el experimento NEXT, que llevó a cabo panel de expertos, y la intención de atraer interés para un futuro desarrollo/apoyo a este experimento.

Los profesores invitados impartieron también charlas relacionadas con el decaimiento doble beta.

### **Reunión del Consejo de Turismo de Aragón (3 de Marzo 2017)**

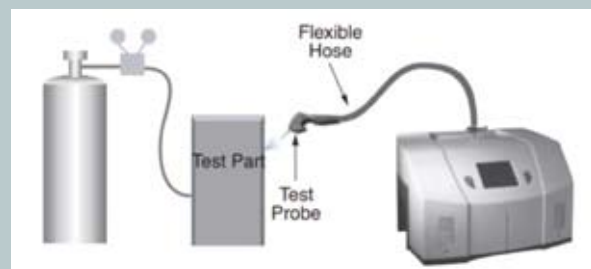
El viernes 3 de marzo las instalaciones del Laboratorio Subterráneo de Canfranc, acogieron la reunión anual del Consejo de Turismo de Aragón presidida por el Consejero de Vertebración del Territorio, Movilidad y Vivienda, José Luis Soro.

La reunión se desarrolló en el auditorio del edificio sede del LSC.



### **Reunión para la segunda revisión del sistema de gas del experimento NEXT-NEW (8-9 de Marzo 2017)**

El director del LSC convoca la reunión de un panel de expertos de diversas instituciones para la segunda revisión del sistema de gas del experimento NEXT-NEW y la elaboración de un informe posterior sobre la misma.



### **Reunión de la Colaboración NEXT (9-11 de Mayo 2017)**

Unos 40 investigadores pertenecientes a la Colaboración del experimento NEXT se reunieron en las instalaciones de LSC para llevar a cabo una de las reuniones anuales de dicha colaboración.



## 20ª Reunión del Comité Científico del LSC (11-12 de Mayo 2017)

El Comité Científico Asesor del LSC está formado por científicos de reputación internacional. Su propósito es asesorar las propuestas de experimentos así como realizar el seguimiento del progreso de aquellos experimentos ya aprobados. En esta reunión, el Comité recibió una presentación por parte de una firma especializada de Zaragoza sobre los beneficios de un estudio electromagnético del laboratorio y del equipamiento que pueda estar ubicado en el mismo.

## Curso de Arquitectura CANFRANC BIM de la EUPLA (3-7 de Julio 2017)

Curso de verano de la Universidad de Zaragoza organizado por la EUPLA (Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia). Esta escuela de verano sobre arquitectura se desarrolló en las instalaciones del LSC, en la Casa de los Abetos, con la asistencia de 15 estudiantes que profundizaron en el estudio de la estructura del edificio de la Estación Ferroviaria de Canfranc y modelación en 3D.



## Open Day (19 November 2017)

El LSC organizó una jornada de puertas abiertas para que el público en general pudiera visitar sus instalaciones. Unas 120 personas participaron en esta visita que incluyó una charla sobre la historia y el presente del laboratorio, acceso a las instalaciones subterráneas y una charla especializada en Ondas Gravitacionales impartida por el Profesor Martin Obergaulinger del grupo VIRGO de la Universidad de Valencia.

## 21st LSC Scientific Committee Meeting (23-24 November 2017)

El Comité Científico Asesor del LSC está formado por científicos de reputación internacional. Su propósito es asesorar las propuestas de experimentos así como realizar el seguimiento del progreso de aquellos experimentos ya aprobados. En esta reunión comenzó con una charla por Maria Luisa Sarsa, del grupo GIFNA, recordando al recientemente fallecido, Director Asociado del LSC, que tristemente nos dejó en Agosto de este año.



## Presentación Estudios Apertura Via Ferroviaria Canfranc-Francia – (1 Diciembre 2017)

Canfranc vivió un día histórico al acoger la firma entre España y Francia del acuerdo de subvención europea de 7,5 millones de euros para realizar los estudios definitivos para la reapertura del tren internacional (cerrado desde 1970). A finales de 2020 está previsto que finalicen los estudios, subvencionados por la Unión Europea, para que puedan comenzar las obras que permitirán la reapertura del paso del Canfranc, cuyo acuerdo rubricaron ayer en las instalaciones del LSC los presidentes de Aragón, Javier Lambán, y Aquitania, Alain Rousset, junto con Herald Ruijters, director de Transporte innovador y sostenible de la UE.

## 4

## CAPTURAS



**Visita  
del Presidente de APPEC,  
Antonio Masiero.  
Febrero 2017**

**Visita de José Luis Soro  
Consejero de Vertebración  
del Territorio, Movilidad  
y Vivienda de la DGA.  
Marzo 2017**



**Visita de Carmen Vela,  
Secretaria de Estado  
de Investigación,  
Desarrollo e Innovación.  
Mayo 2017**



**Retransmisión del programa radiofónico “Agropopular” desde el LSC. Enero 2017**



**Presentación del Telescopio de Mouones en la “Researcher’s Night” Zaragoza. Septiembre 2017**



## ANAIS

### EL VIAJE DE LA TIERRA Y LA MATERIA OSCURA

<http://gifna.unizar.es/anais>

ANAIS es un proyecto de detección directa de materia oscura a través de la observación de la modulación anual que se espera en su ritmo de interacción, señal característica originada por nuestro movimiento relativo a partículas de materia oscura que estuvieran distribuidas en un halo galáctico. Hasta la fecha, solo un experimento ha presentado una sólida evidencia de la presencia de una señal atribuible a la materia oscura en sus datos: DAMA/LIBRA, que opera en el Laboratorio Nacional del Gran Sasso (LNGS) en Italia. Esta evidencia, sin embargo, no ha sido confirmada por otros experimentos que han alcanzado una mayor sensibilidad. Esta aparente contradicción no puede ser considerada como definitiva, ya que se han utilizado diferentes técnicas de detección y núcleos blanco. Una confirmación o refutación de los resultados de DAMA/LIBRA puede realizarse de forma independiente del modelo de halo y materia oscura si se utilizan similares detectores, cristales de yoduro de sodio, en condiciones de muy bajo fondo radiactivo y umbral energético. Unos pocos experimentos en el contexto internacional persiguen el mismo objetivo que ANAIS.

A finales de 2016 seis de los nueve módulos de ANAIS se encontraban ya en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC). Los detectores D4 y D5, financiados por el LSC, acababan de llegar y estaban tomando sus primeros datos con el fin de evaluar sus prestaciones. La orden de compra para los tres últimos módulos fue confirmada a la empresa Alpha Spectra (AS) en diciembre de 2016, gracias a la financiación del proyecto Consolider MultiDark. La electrónica de ANAIS había sido ya probada, puesta a punto e instalada en un espacio de temperatura controlada en el Hall B del LSC y los

materiales que se precisaban para el montaje del blindaje del experimento, así como los vetos plásticos centelladores, estaban listos para su instalación en ANAIS I 12.



*Fig. 5.1. Tres últimos módulos de ANAIS de 12.5 kg de NaI(Tl), recibidos en el LSC en marzo de 2017 (D6, D7 y D8). Con ellos se completa la matriz 3x3 de detectores de ANAIS112.*

Los módulos D6, D7 y D8 (mostrados en la Figura 5.1.) fueron crecidos por la empresa AS con polvo de yoduro de sodio de calidad WIMPScint-III, que debería tener el menor contenido en potasio alcanzado por AS. Los cristales fueron encapsulados siguiendo protocolos similares y usando los mismos materiales que en la fabricación de los módulos previos: cobre OFE, ventanas de cuarzo sintético, una ventana de Mylar aluminizado para permitir calibrar a baja energía, etc. Los módulos llegaron a Canfranc en marzo de 2017 y los tubos fotomultiplicadores (PMTs) fueron acoplados en la sala blanca del LSC inmediatamente tras su recepción (ver la Figura 5.2), siendo instalados en la cabina de



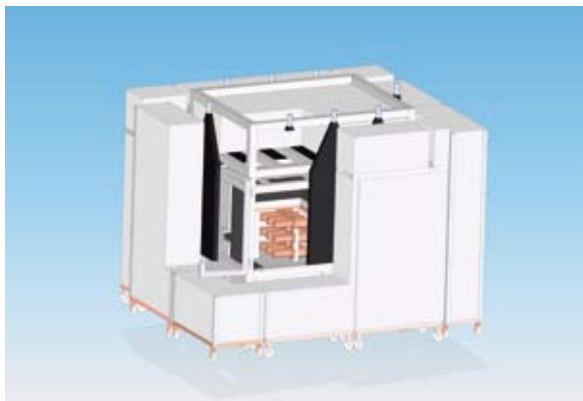
*Fig. 5.2. Acoplamiento de los PMTs a los módulos D6, D7 y D8 en la sala blanca del LSC en marzo de 2017.*

ANAIS en el Hall B del LSC en menos de una semana. Los nuevos módulos mostraron una calidad óptica excelente (ver la Figura 5.3). El montaje del blindaje de ANAIS112 había comenzado con anterioridad, en enero de 2017: campaña de limpieza de plomo y cobre electroformado, acondicionamiento de la cabina de ANAIS para ANAIS112, puesta a punto de los vetos plásticos, etc.



*Fig. 5.3. Detalle de la transparencia del módulo D6, fotografía tomada en la sala blanca del LSC en marzo de 2017 durante el proceso de acoplo de los PMTs.*

ANAIS112 consiste en una matriz de 3x3 módulos de yoduro de sodio de 12.5 kg, por lo que su masa total de detección es 112.5 kg. La Figura 5.4 muestra el diseño del montaje experimental y la Figura 5.5 una vista del detalle de la disposición de los módulos dentro del blindaje de plomo. El blindaje fue instalado durante los primeros meses de 2017 y las primeras pruebas de los 9 módulos fueron realizadas entre marzo y julio de 2017. Después de resolver algunos



*Fig. 5.4. Diseño de ANAIS112.*



*Fig. 5.5. Vista de la disposición de los módulos de NaI(Tl) durante el montaje de ANAIS112 en el LSC en marzo de 2017.*

problemas con la señal eléctrica de salida de algunos PMTs, todos los módulos estuvieron operativos durante junio y julio de 2017 para su calibración y evaluación general de sus prestaciones. Los dieciséis detectores de centelleo plásticos que forman el sistema de vetos activos de ANAIS112 fueron instalados en mayo de 2017, junto con una estructura metálica en la que se apoya el blindaje de neutrones (ver la Figura 5.6). El blindaje de



*Fig. 5.6. Montaje de ANAIS112 antes de completar la instalación del blindaje de neutrones. Se pueden observar los detectores de centelleo plásticos instalados en mayo de 2017.*

neutrones fue instalado en julio de 2017 en varias etapas y permite su apertura parcial para la realización de las calibraciones periódicas del experimento. El blindaje de neutrones consiste en tanques de agua y ladrillos de polietileno, en total 40 cm de espesor (ver la Figura 5.7).

El sistema de calibración a baja energía del experimento consiste en fuentes de Cd-109 montadas en una varilla flexible que puede



Fig. 5.7. Vista final de ANAIS112 tras completar la instalación del blindaje de neutrones en julio de 2017.

ser posicionada exactamente en frente de la ventana de Mylar de cada módulo. Está funcionando de forma más que satisfactoria y permite calibrar los nueve módulos simultáneamente.

Ha sido determinada la luz recogida por unidad de energía depositada en todos los módulos, proporcionando valores muy altos, del orden de 15 fotoelectrones por keV de energía depositada, dos veces la cantidad de luz que recogen los módulos de DAMA/LIBRA.

La actividad alfa específica de los tres nuevos módulos fue determinada por análisis de la forma de los pulsos, resultando valores de 0.80, 0.78 y 0.74 mBq/kg para D6, D7 y D8, respectivamente. Estos valores son consistentes con los de los mejores módulos fabricados hasta la fecha por AS. Aprovechando la alta modularidad de ANAIS112, las eficiencias para la detección de coincidencias atribuibles a la desintegración del K-40, determinadas por simulaciones Monte Carlo

usando Geant4 son mucho más altas que en montajes previos, lo que ha permitido una mejor determinación del contenido en potasio de los cristales. Los valores para el contenido de potasio natural en D6, D7 y D8 son 28, 31 y 22 ppb, respectivamente.

La toma de datos para el análisis de modulación anual en la señal de materia oscura con ANAIS112 (ANAIS112 DM run) comenzó el 3 de agosto de 2017 y está previsto que continúe sin interrupciones durante al menos dos años. Los datos en la región de interés están “blinded” para permitir un análisis sin sesgos. La toma de datos ha progresado de forma satisfactoria y sin incidentes desde agosto hasta diciembre de 2017 y uno de los puntos fuertes del experimento ANAIS112 en el estudio de la modulación anual es su alta eficiencia en el aprovechamiento del tiempo de medida. La Figura 5.8 muestra el porcentaje de tiempo activo (vivo o muerto) y no activo a lo largo del ANAIS112 DM run, desde el 3 de agosto hasta el 2 de noviembre de 2017 (los primeros tres meses de toma de datos).

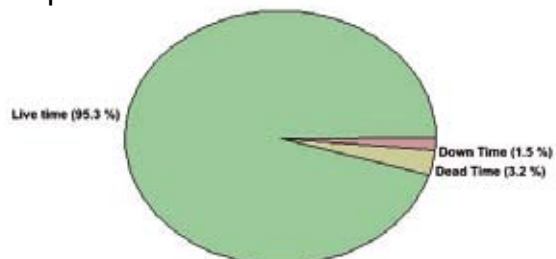


Fig. 5.8. Distribución de tiempo vivo, muerto (en ambos casos tiempo activo del experimento) y tiempo no activo (“down”) durante los tres primeros meses de la operación de ANAIS112 DM run, entre el 3 de agosto y el 2 de noviembre de 2017.

En la primera mitad de 2017 se puso a punto el sistema de monitorización de parámetros ambientales, antes del comienzo de la toma de datos del ANAIS112 DM run. Consiste en varias ventanas de monitorización de parámetros como: el flujo de nitrógeno gas que entra en el blindaje; las temperaturas de la electrónica en diferentes posiciones, del laboratorio, del interior del blindaje, de los preamplificadores, etc.; el contenido de Radon en el aire del laboratorio; la humedad relativa; el voltaje y la corriente suministrada a los PMTs;



etc. (ver la Figura 5.9). El sistema guarda los datos cada par de minutos y se han establecido alarmas en los parámetros más importantes que envían mensajes de aviso a través de Telegram a los responsables del experimento.

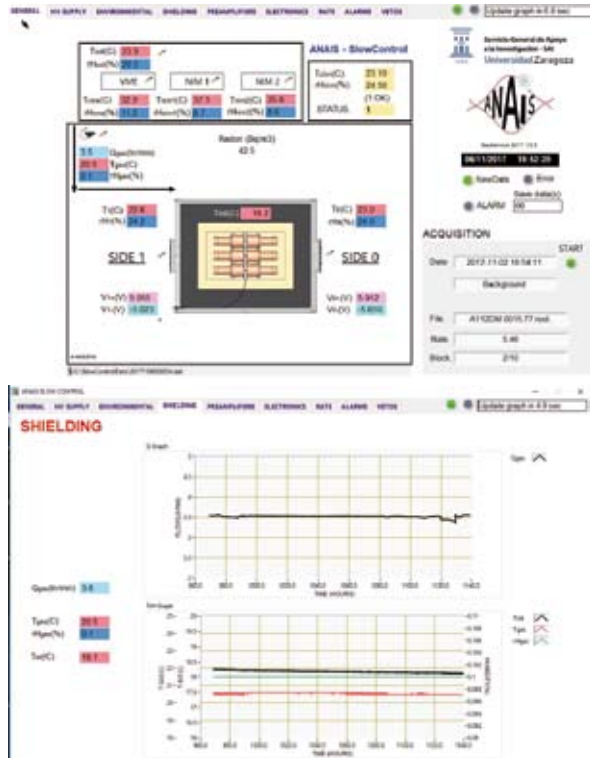


Fig. 5.9. Ventanas de monitorización de los distintos parámetros ambientales.

Los datos tomados durante la fase de puesta a punto de ANAIS I2, entre marzo y julio de 2017, han sido analizados para comprender las fuentes de fondo más importantes de los tres nuevos módulos. La Figura 5.10 muestra los espectros de fondo a baja energía. Se comparan los datos de las primeras semanas y las últimas (de marzo a julio de 2017), apreciándose la desintegración de isótopos cosmogénicamente activados en D6, D7 y D8. Los modelos de fondo preliminares para estos módulos (se muestra como ejemplo el de D8 en la Figura 5.11), considerando las actividades medidas en el cristal y otros componentes de los detectores y la configuración de ANAIS I2, apuntan a que las fuentes de fondo relevantes son las mismas que en los módulos previamente estudiados.

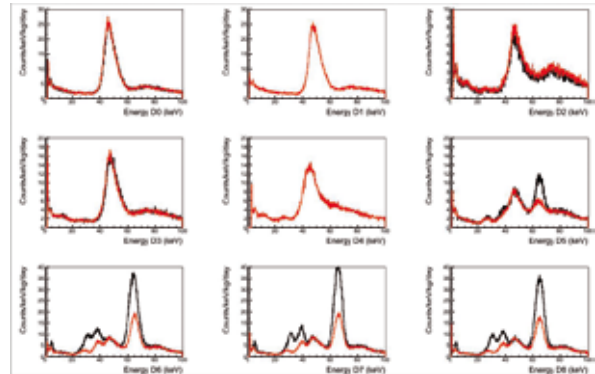


Fig. 5.10. Espectros de fondo a baja energía en ANAIS112 durante su puesta en marcha; los primeros y los últimos datos en el periodo de marzo a julio permiten observar la desintegración de los isótopos cosmogénicamente activados en D6, D7 y D8, los últimos módulos recibidos. Los espectros están filtrados, pero no se han aplicados las correcciones por la eficiencia de los filtros.

La sensibilidad de ANAIS I2 permite explorar en cinco años de toma de datos la región del espacio de parámetros singularizada por DAMA/LIBRA con un nivel de confianza de tres sigmas. El estatus y perspectivas del experimento ANAIS han sido publicados en revistas internacionales y presentados en conferencias importantes en los campos de la detección de la materia oscura galáctica y física subterránea, como es la serie de conferencias TAUP (la última celebrada en Sudbury, Canadá, en julio de 2017).

El profesor José Ángel Villar, portavoz de ANAIS, falleció en agosto de 2017. Sirvan estas líneas para expresar nuestro profundo pesar por su pérdida y recordar la contribución de José Ángel a ANAIS I2.

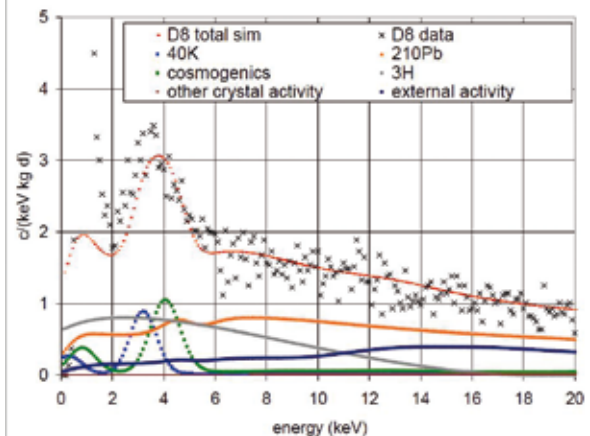


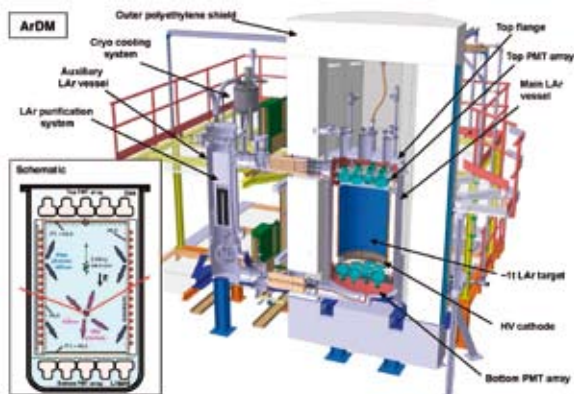
Fig. 5.11. Fondo del módulo D8 a lo largo de la puesta en marcha de ANAIS112 a muy baja energía junto con las estimaciones de nuestro modelo de fondo.



## ArDM ARGÓN LÍQUIDO Y MATERIA OSCURA

<http://darkmatter.ethz.ch/>

El experimento de materia oscura con Argón (ArDM), es el primer experimento a gran escala dedicado a búsquedas de materia oscura diseñado como una cámara de proyección temporal (TPC) de argón líquido (LAr) en doble fase, funcionando en una ubicación subterránea. ArDM está diseñado para la detección del retroceso nuclear inducido por partículas masivas con interacción débil (WIMPs), partículas hipotéticas que se piensa constituyen la materia oscura del Universo. El equipamiento de ArDM se encuentra instalado en el Hall A del LSC, tal y como se muestra en la figura 6.1. La ilustración en el recuadro muestra el esquema de la detección de una WIMP en la LAr-TPC de ArDM. Las WIMPs, dispersadas elásticamente del núcleo de argón son detectadas por la luz centelleadora y la carga ionizante por la interacción del núcleo en retroceso en el argón líquido.



**Fig. 6.1:** Dibujo del equipamiento ArDM instalado en el Hall A del LSC. La ilustración en el recuadro muestra el esquema de la detección de una WIMP en la LAr-TPC de ArDM. Las WIMPs, dispersadas elásticamente del núcleo de argón son detectadas por la luz centelleadora y la carga ionizante por la interacción del núcleo en retroceso en el argón líquido.

En el 2015 se llevó a cabo con éxito la puesta en marcha del detector en su módulo monofásico (ArDM Run I) y puesto en funcionamiento con el objetivo final en LAr de  $\sim 850$  kg en condiciones estables durante seis meses, registrando más de  $3 \times 10^9$  señales

centelleadoras (SI) primarias. Los ficheros con los datos originales en bruto son enviados al CERN (Ginebra), para ser analizados aprovechando la infraestructura informática local. Los resultados se reflejaron en tres publicaciones [1,-3] además de en una tesis postdoctoral. De los datos obtenidos se obtuvo la respuesta del detector y los fondos observados. Esto proporcionó la base para una mejora de la estructura experimental y la transición al modo operacional en doble fase durante 2016/17.

Durante la segunda parte de 2017 el montaje de ArDM se enfrió y caracterizó inicialmente con un argón gaseoso frío. Se definieron tanto las tasas de las emanaciones de radón del detector como de los nuevos cartuchos de limpieza. El llenado de la vasija principal comenzó a finales de noviembre 2017 con una puesta en funcionamiento en el modo en doble fase en Diciembre 2017, que define el comienzo del Run II de ArDM. Este hecho constituye un gran hito en el programa experimental de ArDM.

En el 2017 se consiguió un gran progreso hacia la planificación y coordinación de futuros proyectos de Materia Oscura con LAr. Las cuatro colaboraciones pioneras en los desarrollos dentro de este sector (ArDM, DEAP-3600, DS-50, MiniCLEAN) expresaron su interés en un informe [5] para unir fuerzas en el marco de una Colaboración Global en Materia Oscura (GADMC). DarkSide-20K, una TPC en LAr de doble fase ubicada en el LNGS (DS-20K), se identificó como el paso a seguir dentro de este programa, con un volumen fiduciario de 20 toneladas para alcanzar una sensibilidad de  $1.2 \times 10^{-47} \text{cm}^2$  en una masa de WIMP de  $1 \text{TeV}/c^2$  después de una exposición de 100 toneladas/año. Un requisito previo crucial antes de usar

grandes cantidades de LAr es empobrecer el material activo en el isótopo  $^{39}\text{Ar}$  emisor  $\beta$ . Esto se conseguirá a través de la obtención de argón de pozos de gas profundos con la subsiguiente limpieza (destilación). Es imperativo caracterizar lotes individuales de argón. El montaje de ArDM en el LSC es una instalación ideal para la búsqueda del argón empobrecido y se ha integrado como un proyecto de I+D en el programa experimental de DS20k, programa apoyado por el director del LSC. Se ha planificado llevar a cabo pruebas (DART/ArDM@LSC) durante el 2018 y más en adelante.

En las siguientes secciones se detalla la puesta en marcha del montaje de ArDM para la fase de funcionamiento en doble fase y se muestran algunos de los resultados de los datos obtenidos en la toma de datos II. También se describen los planes para el primer paso de las pruebas con argón empobrecido en el LSC (DART/ArDM) con una pequeña cámara de 1 litro ubicada en el centro del montaje ArDM, programa que se encuentra en preparación en la actualidad.

### **Puesta en Marcha del montaje de ArDM para el funcionamiento en doble fase**

Tras las mejoras llevadas a cabo en el detector ArDM en el 2016 con la nueva cámara TPC para la operación en doble fase, se llevaron a cabo en el 2017 una serie de mejoras del hardware y tareas de inspección, incluyendo una nueva línea de recirculación, el sistema de llenado de argón y además la mejora y reforma del sistema de control de ArDM.

La medida del rendimiento de la luz recogida durante la operación en fase única de ArDM, que sugería la presencia de impurezas en el LAr, necesitaba una mejora

del sistema de purificación (externo) del montaje, también utilizada para purificar el LAr durante el funcionamiento. Se instaló una tubería de extracción en paralelo a la conexión existente de gas argón (GAR) en la parte superior del detector y se conectó el circuito de recirculación de gas a través de una tubería aislada al vacío de doble pared. En el nuevo circuito, el LAr puede ser evaporado y calentado por las bandas calefactoras instaladas en la primera sección de la línea de recirculación. Se añadió un sistema de regulación de velocidad para la bomba de recirculación gaseosa, basada en un inversor electrónico, a la línea de potencia AC permitiendo así regular el flujo de gas por el sistema de control de ArDM.

Para poder mejorar la pureza del LAr de origen, el detector se llenó con argón evaporado procedente de tanques externos de LAr a baja presión en lugar del procedente de botellas de GAR. El LAr dentro del tanque primero se evaporó y seguidamente se llenó en el recipiente Dewar principal a través de filtros. Esto evitó que las impurezas del GAR entraran en el Dewar principal. El nuevo circuito de llenado de argón hizo posible esta operación. Este consiste en cuatro partes principales: el tanque de LAr portátil de 600 litros a baja presión, un evaporador, tres cartuchos de purificación y dos válvulas eléctricas motorizadas (ver Fig. 6.2). El tanque



*Figura 6.2: Evaporador y válvulas motorizadas (izquierda), componentes del filtro (medio) y tanque de LAr (derecha), utilizados para el llenado de casi 1.5 toneladas de LAr del target de ArDM*

<sup>1</sup> ArDM es un experimento reconocido por el CERN (RE18).

de LAr, junto con el LAr, fue suministrado por la empresa LINDE, España. El evaporador de LAr fue construido con una tubería de cobre que contiene 8 calentadores eléctricos. Los tres cartuchos de purificación incluyeron un filtro de gas disponible en el mercado (WAFERGARD®III NF-750 in-line Gas Filters) y dos cartuchos hechos a medida rellenos de hilo de cobre y polvo de carbón vegetal respectivamente. Se hizo un pedido a Swagelok de las dos válvulas criogénicas equipadas con activadores de válvula eléctrica de la empresa alemana GULEX. El circuito de llenado completo se conectó a través de componentes metálicos, lo cual minimiza la posibilidad de la polución de argón durante el llenado. Todos los componentes y mangueras fueron aislados del calor utilizando materiales de goma sintética (ARMAFLEX) para reducir el calor procedente del entorno. El circuito de llenado fue conectado al circuito actual de recirculación antes de la válvula de entrada vía un VCR-T. Esto permitió purgar el circuito a través de una válvula de ventilación en el circuito de recirculación de gas argón durante el enfriado del circuito de llenado.

En paralelo a las mejoras del detector principal, tanto el software como el hardware del sistema de control de ArDM se han inspeccionado y mejorado para poder respaldar el nuevo procedimiento de llenado de argón y también mejorar la fiabilidad del experimento. Se reemplazaron o arreglaron varios sensores de temperatura, en el reborde superior y en la tubería de recirculación de LAr y otras. Especialmente los refrigeradores criogénicos (cryocoolers) cruciales para un funcionamiento sin fallos de ArDM, se repararon: se reemplazaron sensores de temperatura rotos por otros calentadores eléctricos más robustos y se mejoraron los disparadores del calor. Se pusieron a punto los parámetros del controlador PID durante el enfriamiento del sistema para conseguir la mayor estabilidad posible del sistema

criogénico. Para poder obtener información más precisa sobre los niveles de LAr en el baño y en el recipiente Dewar, se construyó y calibró nueva electrónica de lectura. También se recalibraron los sensores de presión en el Dewar, el baño y la tubería de llenado de argón. Esto proporcionó información más precisa sobre el proceso de enfriado y llenado. Con el objetivo de controlar el procedimiento de llenado de argón, se instalaron nuevos sensores de temperatura y presión en el circuito de llenado tal y como se ha mencionado anteriormente, junto a módulos analógicos y digitales i/O, que leen los valores de los sensores y regulan la válvula de llenado y la válvula de entrada. Todas las funciones fueron integradas en el sistema de control actual.

El 27 de septiembre de 2017, se comenzó con el enfriamiento del experimento tras varios meses de evacuación y descarga del Dewar principal. Comenzando a temperatura ambiente, el GAr fue condensado dentro del baño de enfriado experimental de las botellas externas con la ayuda de los tres cryocoolers. Al mismo tiempo, el tanque entero, incluyendo la enorme estructura de aluminio del sistema y el blindaje de neutrones dentro del tanque, fue enfriado a temperatura criogénica. Una vez el sistema fue enfriado, se apagó uno de los cryocoolers el 5 de octubre, y los calentadores eléctricos comenzaron a funcionar en modo de regulación. Los parámetros PID fueron puestos a punto para mantener la temperatura y la presión dentro del baño estables. Desde entonces, el detector fue puesto en funcionamiento con el target de argón gas frío.

El llenado del recipiente Dewar principal comenzó el 8 de noviembre de 2017 con la evaporación del argón del LAr entregado. El evaporador estabilizador de temperatura (100K) actúa como un dispositivo de seguridad de que el argón líquido no puede alcanzar el circuito de llenado y por consiguiente los

filtros. Proporciona la suficiente potencia de calor necesaria de acuerdo con el flujo de gas. Pasando por los dos cartuchos de purificación y el filtro de partículas, el limpio gas argón frío es suministrado a la vasija principal de ArDM.

El flujo de gas es controlado por la apertura de una válvula de llenado monitorizada que es regulada por la presión antes del filtro de carbón vegetal para mantenerla a un nivel fijo ( $\sim 0.5$  barG). De este modo, el flujo de gas está bien controlado por la resistencia del sistema de filtrado y el sistema funciona de manera muy estable. Finalmente, el gas argón frío es condensado en un intercambiador de calor dentro de la torre de enfriamiento de ArDM. El proceso al completo fue regulado por el sistema de control de ArDM y monitorizado por personal a turnos. El llenado del sistema de ArDM también fue monitorizado por ratio de trigger creciente debido al aumento del tamaño del target. Se observó la funcionalidad del sistema de limpieza de LAr desde la lifetime del componente centelleador lento (compare con la Fig. 6.3 derecha en la siguiente sección).

Una vez se llenó el detector el 1 de diciembre de 2017, se alineó el sistema de extracción a la superficie de argón líquido (con una precisión de  $\sim 0.25$  mm) y se ajustó para formar una zona de gas de unos 6 mm sobre el nivel del LAr. Siguiendo estos ajustes los campos eléctricos de deriva (100-300V/

cm) y extracción ( $\sim 4$  kV/cm) se aplicaron y configuraron a través del sistema de control de ArDM. La presencia inmediata de señales S2 se observó en el osciloscopio, además de la tasa de activación (2 señales por evento). En general, se observó una alta estabilidad de los sistemas HV, las corrientes de fuga están por debajo de los límites de detección (nA). El campo de extracción influye la probabilidad de la extracción de carga, además de la luminiscencia en el gas.

El tamaño y la homogeneidad de los campos es crucial para el funcionamiento en doble fase y tanto el ajuste preciso del nivel de líquido como la alineación de montaje en ánodo de rejilla juegan un papel importante.

Estos parámetros están entre los más cruciales para el funcionamiento de la doble fase y están sujetos a puesta a punto. Además, el trigger y los sistemas DAQ tienen que ser adaptados a ratios más altos y la longitud de la señal S2 debido a la cola más larga del centelleo en el argón gaseoso. Desde diciembre 2017 ArDM está en funcionamiento en modo de doble fase y sigue tomando datos mientras se optimizan estos parámetros.

### Desempeño básico en modo de operación en doble fase

Durante la preparación para el Run II y los primeros periodos de toma de datos, noviembre y diciembre 2017, estábamos

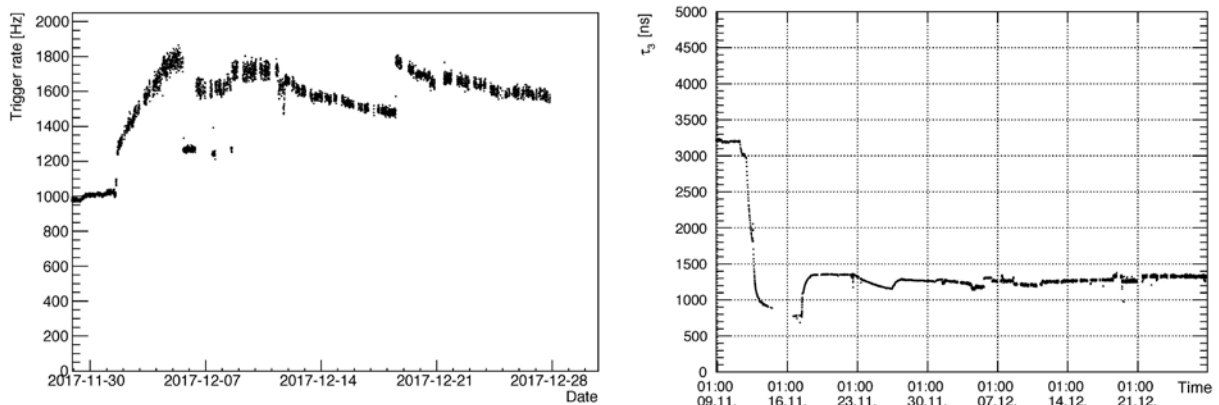


Figura 6.3. Ratio de trigger y medición del componente lento tiempo de desintegración durante el llenado

centrados en monitorizar y poner a punto las condiciones para el llenado y el funcionamiento en doble fase. Al mismo tiempo se preparó el marco para la simulación del nuevo montaje y la señales S2.

En el caso de la operación en doble fase, el ratio de trigger en ArDM aumenta considerablemente con respecto al modo en fase única.

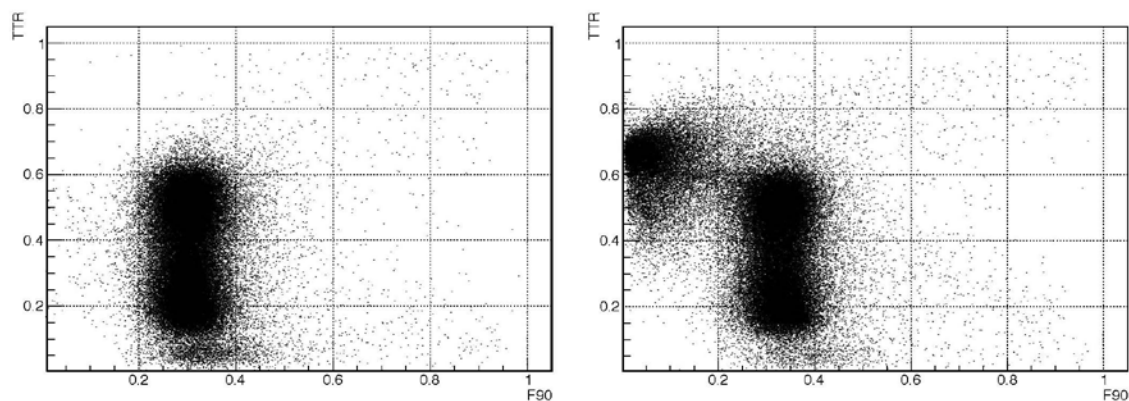
El sistema de ArDM DAQ ha sido preparado para la toma de datos hasta un ratio de 3.4kHz, y el ratio de trigger fue monitorizado durante el empleo de varios campos de deriva y extracción, tal y como se muestra en la izquierda de la Fig. 6.3. Se puede observar lo siguiente: una vez el ratio de trigger de  $\sim 1.2\text{kHz}$  ha sido establecido (01-12-2017) en el modo de fase única (derivado principalmente del ratio de señal S1 de 39Ar en el target), el ajuste gradual del campo de deriva entre 120 y 240V/cm, y los campos de extracción en el orden de 3.4kV/cm, produjo un ratio de trigger aumentado variando entre 1.4-1.8kHz (escala de tiempo hasta el 06-12-2017). Esto fue seguido de un periodo de ajustes adicionales y testing del sistema en modos de fase única y doble.

Desde el 12-12-2017 hasta finales de año ArDM se mantuvo en un funcionamiento estable en doble fase en una deriva nominal de voltaje de 180V/cm. Los parámetros de extracción se han fijado de la siguiente forma: el ánodo transparente conductor (ITO revestido PMMA) ha sido conservado a 0V, mientras que 10mm bajo esta superficie la rejilla de extracción se mantuvo a -3.2kV, y por consiguiente los anillos moldeadores de campo tal y como el anillo superior de cobre y el primer anillo moldeador de campo fueron fijados a -3.8kV y -4kV respectivamente. El 18-12-2017 el potencial de la rejilla de extracción y los anillos de cobre han sido más ajustados, para aumentar el campo de extracción, a -3.8kV y -3.9kV, respectivamente,

como resultado el ratio de trigger aumento a  $\sim 1.8\text{kHz}$ . Se encontró un lento decrecimiento en el ratio de trigger en largos periodos de tiempo y esto fue atribuido a un lento decrecimiento en el asentamiento del nivel de argón líquido.

El desempeño básico de un modo de funcionamiento en doble fase ha sido también confirmado monitorizando la distribución de la localización de la variable vertical ( $TTR = \text{Top to total ratio de señal luminosa, Total} = \text{Top} + \text{Bottom PMT signals}$ , ver nuestros informes anteriores) versus la variable F90 (F90 = ratio señales luminosas en los primeros 90 nanosegundos a la señal luminosa e la ventana de integración del 4 microsegundo) entre las dos condiciones de toma de datos: en modos de fase única y doble.

En modo de fase única los eventos son distribuidos a lo largo de la posición vertical de manera más o menos homogénea, sus límites son definidos por la posición de los platos PMMA superior e inferior, y con un valor característico F90 de  $F90 \sim 0.35$ , de acuerdo con el ratio componente esperado de los datos dominados por eventos de retroceso de Electrón. En contraste, en el modelo de doble fase hay un exceso de eventos que pueblan los muy bajos valores F90 y su posición vertical se encuentra ser por encima del valor TTR de la fase única – estos eventos se esperan de la emisión secundaria de luz electroluminiscente de electrones, habiendo derivado al nivel de Argón líquido, extraído a la fase de Argón gas, y acelerado debido a la presenta de un gran campo eléctrico. El valor F90 disminuido también se espera para eventos de emisión de luz secundarios debido al tiempo de derivación relativamente largo en el gas ( $1\mu\text{s}$ ), colisiones aleatorias en la fase de gas y el largo tiempo de desintegración de la luz de centelleo en gas ( $\sim 3.2\mu\text{s}$ ). La observación de estos eventos excesivos en lo más alto del nivel líquido, y con un valor F90 diferente, muestra una clara evidencia para el



**Figura 6.4.** El arranque de dos eventos S2 en la parte superior del detector ArDM en el caso de aplicar HV para la extracción de carga se observa claramente en el diagrama derecho (HV on) versus el izquierdo (HV off)

exitoso funcionamiento de ArDM en modo de doble fase (Fig. 6.4.).

La pureza del Argón líquido ha sido también monitorizada grabando la media de la lifetime triple excimer para cada run durante el llenado de Ar, en toma de datos durante los periodos de modo en fase única y doble. La Fig. 3 muestra a la derecha la lifetime observada a lo largo de 2 meses. La lifetime inicial de  $\sim 3.3$  microsegundos fue medida a finales de la puesta en marcha del periodo con gas frío, justo antes de comenzar el procedimiento de llenado de argón líquido en ArDM. La lifetime fue bajando gradualmente hasta mediados de noviembre 2017 (debido al aumento del nivel de líquido y la lifetime más corta en líquido  $\sim 1.6\mu\text{s}$ ) momento en el cual la bomba Argón líquido interna fue utilizada para limpiar el líquido a través de un filtro de cartucho interno de cobre. Esto aumentó la pureza del Argón líquido a unos 1.4 microsengundos, después de lo cual, aparte de pequeñas variaciones debidas a varias operaciones standard, la lifetime del monitorizado excimer triple se quedó básicamente estable. La lifetime triple de LAr (de la señal de centelleo) únicamente ofrece una indicación aproximada sobre la lifetime del electrón durante la deriva en la fase líquida, esta última siendo una importante medida del desempeño durante el modo de doble fase. Sin embargo, considerando el hecho de que en el modo de doble fase el ratio trigger aumento en un  $\sim 50\%$  sin

ninguna puesta a punto sofisticada del campo de extracción (optimizando los umbrales del trigger para S2), y asumiendo una velocidad de deriva de un electrón nominal de  $\sim 1.5\text{mm}/\mu\text{s}$  en el líquido, se espera que la lifetime del electrón este en el orden de al menos unos cientos de microsegundos. Esto es también un acuerdo con estimaciones aproximadas en correlación entre las alturas de las señales versus su posición vertical en el target LAr.

Durante el análisis de los datos del Run I los resultados mostraron que los fondos del retroceso del Electrón tanto interno como externo considerados dan una descripción completa satisfactoria de las características encontradas en los datos del modelo de fase única. El desarrollo adicional del software de ArDM y los códigos de simulación comenzaron durante el 2017 en preparación de los análisis para el procesamiento y entendimiento de los datos del ArDM Run II. La nueva geometría ha sido incorporada por completo al detector modelo Geant4.

Han comenzado los preparativos para el tratamiento de eventos de doble naturaleza (triggers primarios y secundarios), y el modelaje de la segunda emisión de luz también ha comenzado. El próximo paso será la recopilación y análisis a gran escala de los datos y la validación del software y simulación utilizando el Run II en fase de datos única y doble.



Figura 6.5: Detector Central de ArDM con el ~1Ltr DART

### Hacia las pruebas de argón empobrecido en el LSC en el marco de DART/ArDM

En el futuro, las instalaciones de bajo fondo ArDM serán utilizadas para un desarrollo crítico de la siguiente generación de proyectos LAr DM en el marco del programa DS-20k. Durante 2017 se formó un grupo de trabajo (DART) con reuniones regulares semanales para desarrollar el camino experimental para dichas actividades. La primera fase de DART consiste en construir una pequeña cámara de fase única LAr, que contenga alrededor

de 1kg de argón de prueba, para ponerse en funcionamiento dentro de la estructura principal de ArDM. En esta configuración ArDM operará en modo de fase única como un veto activo para el fondo radioactivo interno y externo. El primer objetivo es medir la contaminación remanente intrínseca, en particular los contenidos de  $^{39}\text{Ar}$  y  $^{85}\text{Kr}$ , del argón del gas  $\text{CO}_2$  recuperado del pozo de la planta Kinder-Morgan, Colorado (USA). Se está llevando a cabo una producción masiva del argón empobrecido pero todavía necesita de la instalación de componentes adicionales a la planta de extracción de gas. Para poder conseguir una buena sensibilidad del factor de empobrecimiento de  $^{39}\text{Ar}$  (sensibilidad esperada de  $\sim 1\text{mBq/kg}$  a  $5\sigma$  nivel tras unos días de exposición) es de gran importancia minimizar las fuentes de fondo. En la actualidad estamos diseñando la pequeña vasija OHFC (interior del montaje en la Fig.6.5), que albergará dos baldosas de 24 SiPM, ubicadas dentro de la parte superior e inferior de la pequeña vasija. Las baldosas son del mismo tipo que las utilizadas en DS-20k (prototipos). Aunque planeamos llevar a cabo una primera prueba con la SiPM montada sobre sustratos standard FR4, estamos investigando posibilidades alternativas de opciones radio puras para baldosas de sustrato. Resultados preliminares de las pruebas confirmaron que el Arlon es una opción viable para los objetivos de DART. Las muestras de Arlon están pedidas bajo estudio actualmente. El volumen activo de la cámara está delimitado por una lámina reflectante revestida con la onda de desplazamiento TPB (Tetraphenyl Butadiene) depositada por evaporación, similar al tipo utilizado en ArDM. La estructura interna está fijada a la tapa de cobre de la cámara. Dos tubos de  $\frac{1}{2}$  pulgada se utilizan para circular argón por la cámara, además de orientar los cables de señal de las baldosas al cableado eléctrico ubicado en el reborde superior de ArDM. La cámara será construida para que la estabilidad mecánica



sea la suficiente para permitir su evacuación durante el funcionamiento de la vasija principal de ArDM (grosor mínimo de la pared 5mm). Las simulaciones muestran que la eficiencia en tagging el fondo radioactivo gama se reduce cuando aumentamos el grosor de las paredes, puesto que el cobre puede parar gamas de baja energía. Por esta misma razón, las paredes más gruesas pueden actuar como un veto pasivo extra a la radiación externa. Se está estudiando cual sería el grosor más óptimo. Proyectamos una primera prueba de la cámara DART en el criostato clonado de ArDM en el CERN y la instalación en el montaje de ArDM en el LSC más adelante.

## Resumen

El 2017 fue un año importante para el programa de ArDM, puesto que se consiguió un gran hito, el funcionamiento de una TPC LAr a gran escala en el modo operacional de doble fase. Los objetivos del Run II para el proyecto incluyen un asesoramiento general de la sensibilidad del montaje para retroceso de núcleos de baja energía, el estudio eventos de neutrones de dispersión múltiple, la mejora de la potencia de rechazo del retroceso de electrones (basada en ratio de PSD y S1/S2), además del estudio de los retos de las técnicas asociadas, como la longitud de atenuación de LAR VUV en efecto del desempeño de un sistema de purificación determinado. Todos estos puntos son hitos fundamentales de los detectores a gran escala LAr de materia oscura de la próxima generación. Se ha identificado el programa a medio plazo para pruebas con argón empobrecido con el montaje ArDM del LSC y se encuentra en preparación.

## Referencias

- [1] ArDM Collaboration, J. Calvo et al., "Commissioning of the ArDM experiment at the Canfranc underground laboratory: first steps towards a tonne-scale liquid argon time projection chamber for Dark Matter searches," *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 2017 (2017) 003, arXiv:1612.06375 [physics.ins-det]
- [2] ArDM Collaboration, J. Calvo et al., "Measurement of the attenuation length of argon scintillation light in the ArDM LAr TPC," *Astroparticle Physics* 97,186 (2018), arXiv:1611.02481 [astro-ph.IM]
- [3] ArDM Collaboration, J. Calvo et al., "Low energy backgrounds and pulse shape discrimination in the ArDM liquid argon TPC", arXiv:1712.01932 [physics.ins-det]
- [4] Bárbara-Rosario Montes Núñez, "Analysis of the first underground run and background studies of the Argon Dark Matter experiment," PhD thesis, Complutense University of Madrid / CIEMAT, 2016.
- [5] M. Battaglieri et al., "US Cosmic Visions: New Ideas in Dark Matter 2017: Community Report", arXiv:1707.04591v1 [hep-ph]



## NEXt

### NEXt-WHITE RESULTADOS DURANTE EL RUN II

<http://next.ific.uv.es/next>

## I Introducción

El programa NEXt está desarrollando la tecnología de gas xenón a alta presión en cámaras de proyección temporal (TPCs) a través de la amplificación electroluminiscente (HPXe-EL) para búsquedas de desintegración doble beta sin neutrinos [1–5]. La primera fase del programa comprendió la construcción y puesta en marcha de dos prototipos denominados NEXt-DEMO y NEXt-DBDM, que demostraron la robustez de la tecnología, su excelente resolución de energía y su señal topológica única [6–9].

El detector NEXt-White I (NEW) implementa la segunda fase del programa. NEXt-White es un modelo aproximado a escala 1:2 de NEXt-100 (la TPC de NEW tiene una longitud de 664.5 mm y un diámetro de 522 mm mientras que la TPC de NEXt-100 tiene una longitud de 1300 mm y un diámetro de 1050 mm), un detector HPXe-EL de 100 kg que constituye la tercera fase del programa y esta previsto que comience su funcionamiento en 2019. NEW está tomando datos con éxito desde Octubre 2016 en el LSC. Su propósito es el de validar la tecnología HPXe-EL en un detector radio-puro de gran tamaño. Dicha validación comprende tres tareas fundamentales: asesorar la robustez y fiabilidad de las soluciones tecnológicas; comparar en detalle la contaminación radioactiva estimada con los datos, particularmente la contribución de los diferentes componentes radioactivos, y estudiar la resolución de energía y el facto de rechazo de contaminación radioactiva dado por la característica firma topológica de un HPXe-EL. Además, NEW puede proporcionar

una medida de la desintegración doble beta de dos neutrinos ( $\beta\beta 2\nu$ ).

Durante 2017, la colaboración de NEXt ha concentrado sus esfuerzos en la puesta en marcha y toma de datos del detector NEW. El presente informe presenta un resumen de los resultados más importantes obtenidos durante este periodo. Una descripción más detallada se puede encontrar en [10–14]. Otros resultados importantes obtenidos durante 2017 se encuentran en [15–18].

## 2 Los detectores

### NEXt-White: una reseña

Tabla 1: NEXt-White TPC parámetros.

Parámetro TPC	Nominal	Run II(4734)	Run II(4841)
Presión	15 bar	7.2 bar	9.1 bar
EL campo(E/P)	2.2 kV cm <sup>-1</sup> bar <sup>-1</sup>	1.7 kV cm <sup>-1</sup> bar <sup>-1</sup>	1.7 kV cm <sup>-1</sup> bar <sup>-1</sup>
EL separación	6 mm	6 mm	6 mm
Tensión ánodo	16.2 kV	7.0 kV	8.5 kV
Longitud	664.5 mm	664.5 mm	664.5 mm
Diámetro	454 mm	454 mm	454 mm
Masa	5 kg	2.3 kg	3 kg
Distancia deriva	(530.3 ± 2.0) mm	(530.3 ± 2.0) mm	(530.3 ± 2.0) mm
Campo deriva	400 V cm <sup>-1</sup>	400 V cm <sup>-1</sup>	400 V cm <sup>-1</sup>
Tension cátodo	41 kV	28 kV	30 kV

El instrumento NEXt-White es en la actualidad el mayor HPXe-EL del mundo. La Tabla 1 muestra los parámetros principales de la TPC. La columna izquierda lista los parámetros nominales (diseño), mientras que la columna central y la derecha listan los valores de los parámetros durante el funcionamiento inicial del detector (el denominado Run II que se describe en este informe). El plano de medida de energía está equipado con 12 tubos fotomultiplicadores (PMT) Hamamatsu R11410-10 ubicados 130 mm detrás del cátodo, proporcionando una cobertura del

<sup>1</sup> Nombrado así por el Prof. James White, nuestro difunto menor y amigo.

31% del área total. El plano de imagen está equipado con 1792 fotomultiplicadores de Silicio (SiPM) SensL serie-C distribuidos en un área de 10 milímetros. El instrumento contiene una capa interna de cobre ultra-puro (ICS) de 60 mm de grosor, mientras los planos de energía e imagen están sostenidos sobre placas de cobre de 120 mm de grosor.

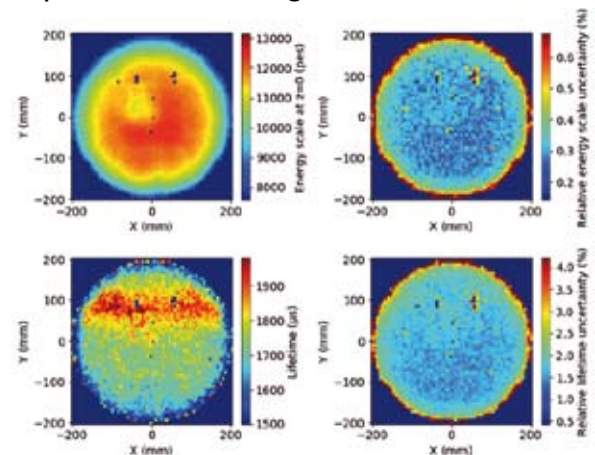
El detector se sitúa dentro de una vasija de presión fabricada en una aleación de titanio radio-puro, 316Ti. La vasija de presión está montada sobre una plataforma antisísmica y rodeada por una protección de plomo (castillo de plomo). Puesto que se requiere que los electrones libres tengan una larga duración en el gas xenón, éste se recircula en un circuito cerrado donde es purificado constantemente. El montaje está emplazado al completo sobre una plataforma de tramex elevada del suelo en el Hall A del LSC. (Figura 7.1).



**Figura 7.1:** Panel superior: diagrama que muestra el detector NEW y las infraestructuras asociadas en el LSC (los haces de luz amarillos marcan la cobertura de las webcams para el control remoto de los parámetros del experimento). Panel inferior: imagen real del equipamiento en el LSC.

### 3 Calibraciones de criptón

En esta sección describiremos la calibración del detector utilizando una fuente de rubidio ( $^{87}\text{Rb}$ ) que proporciona una amplia muestra de desintegraciones de criptón ( $^{83\text{m}}\text{Kr}$ ) dando lugar a una muestra homogénea de líneas de 41.5 keV de energía. Estos eventos puntuales permiten medir, corregir y monitorizar constantemente la duración de los electrones en el medio, además de medir y corregir la dependencia de la energía medida con las coordenadas transversales ( $x, y$ ). Tras realizar estas correcciones, se puede determinar la resolución de la energía de la cámara para deposiciones de energía localizadas.



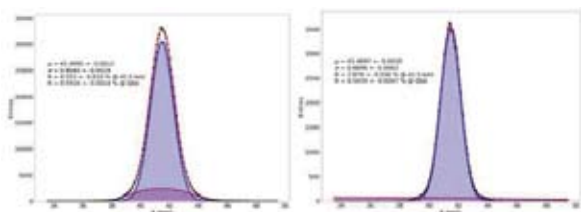
**Figura 7.2:** Mapas obtenidos al adecuar la duración de los electrones libres como una función de las coordenadas del plano transversal ( $x, y$ ) para la sesión de toma de datos 4734. Las energías previstas para  $z = 0$  (izquierda) y sus incertidumbres (derecha) se muestran en la parte superior, mientras que la duración (izquierda) y sus incertidumbres (derecha) se muestran en la parte inferior. Se observa una clara dependencia de la duración con la posición en el plano transversal. La incertidumbre en la escala de energía es del orden de 0.2%, realizando una contribución sub-dominante a la energía de resolución a 41.5 keV. Por otro lado, la incertidumbre del valor de la duración es del orden del 1%. Esta contribución se debe incluir en la interpretación del valor final de la resolución de energía.

Esta dependencia de la duración puede ser corregida utilizando sesiones de toma de datos de amplia estadística de criptón para producir un mapa de duración. El mapa se construye dividiendo la cámara en celdas de  $60 \times 60$ , un cuadrado de 6.7 mm de lado y ajustando la duración en cada celda. El número de celdas se elige maximizando la granularidad mientras se conserva el número

de datos suficientes para mantener que las incertidumbres estadísticas de los ajustes sean pequeñas.

Los mapas resultantes se muestran en la figura 2 para la sesión de toma de datos 4734. Los parámetros óptimos encontrados al ajustar los datos corresponden a la predicción de la energía a  $z = 0$  y su incertidumbre, además de la duración y su incertidumbre. El mapa mostrado en el panel izquierdo superior es un mapa de energía, donde el efecto de la duración no se ha tenido en cuenta, mostrando la dependencia de la energía del evento en el plano  $(x, y)$ . El mapa es bastante uniforme en la región central, con la excepción de un “cráter” centrado en  $[-50, 50]$ , cuyo origen podemos atribuir a unos paneles de SiPM con reflectancia degradada, y caen abruptamente en los bordes, donde el ángulo sólido cubierto por los PMT tiende a cero. El mapa de duración se muestra en el panel inferior izquierdo. Hay una región con una duración más amplia (cerca de 2 ms) mientras que cerca del centro de la cámara la duración es unos  $300 \mu\text{s}$  más pequeña. Como conclusión, las calibraciones con el criptón permiten la corrección experimental de la variabilidad de la duración del electrón libre con la posición en el plano, variabilidad debida a múltiples efectos.

### 3.1 Resolución de energía



**Figura 7.3:** Distribución de energía corregida para eventos de la desintegración del criptón (izquierda) en el volumen total de NEXT-White TPC, y en un volumen restringido (derecha), para la sesión de toma de datos 4734.

Para estimar la resolución de la energía para depósitos de energía puntuales en NEW, los datos de criptón están divididos en dos

muestras. La muestra de corrección (C) se utiliza para calcular la duración y mapas de corrección de geometría, los cuales son entonces aplicados a los datos en la muestra de medida (M). La energía obtenida con la suma de las señales de los PMT corregidas se ajusta a una distribución gaussiana para estimar la energía de resolución.

La figura 3 ilustra la resolución de energía medida en la sesión 4734 (a una presión de 7.2 bar). Los datos se ajustan a una doble gaussiana, para tener en consideración colas debidas a sucesos del fondo residual (pequeños depósitos de energía o de desintegraciones  $^{83\text{m}}\text{Kr}$  con identificaciones de energía erróneas). El ajuste produce una resolución de energía de  $(4.55 \pm 0.01) \%$  FWHM en el volumen completo de NEW (panel izquierdo). La extrapolación  $(1/\sqrt{E})$  a la energía  $Q_{\beta\beta}$  produce  $(0.592 \pm 0.001) \%$ . El ajuste mostrado en el panel derecho corresponde a los datos contenidos en la región restringida definida por un radio menor a 150 mm y  $z$  menor a 150 mm. La selección radial asegura la cobertura geométrica óptima y la selección en el eje de simetría  $z$  minimiza los errores residuales debidos a las fluctuaciones de la duración, que aumentan con  $z$ . El ajuste produce  $(3.88 \pm 0.04) \%$ , que extrapolando a la energía de  $Q_{\beta\beta}$  es  $(0.504 \pm 0.005) \%$ . Este valor está muy cerca de la mejor resolución esperada en NEW (figura 3), confirmando las excelentes capacidades de la tecnología y las buenas condiciones de funcionamiento de la cámara. La figura 3 ilustra la resolución de la energía medida en la sesión 4841 (a una presión de 9.1 bar). Los datos están ajustados a una gaussiana más un polinomio, para tomar en cuenta colas debidas a eventos de fondo residuales (pequeños depósitos de energía o desintegraciones  $^{83\text{m}}\text{Kr}$  con identificación de energía errónea). El ajuste produce una resolución de energía de  $(4.53 \pm 0.02) \%$  FWHM en el volumen de NEW completo (panel izquierdo). La extrapolación a  $Q_{\beta\beta}$  produce  $(0.589 \pm 0.002) \%$ .

El ajuste en el panel derecho corresponde a los datos contenidos en la región restringida definida anteriormente. El ajuste produce  $(3.90 \pm 0.03) \%$ , extrapolando a  $Q_{\beta\beta}$  es  $(0.507 \pm 0.003) \%$ , similar a los valores obtenidos para la sesión 4734, confirmando la independencia de la resolución para la deposición puntuales de energía con la presión.

Las principales incertidumbres sistemáticas en la resolución de energía provienen de las incertidumbres en los factores de corrección y duración. Hemos estimado estas incertidumbres midiendo la variación en la resolución de energía cuando esas cantidades se desplazan  $\pm 1\sigma$  alrededor del valor óptimo. Encontramos que para las dos sesiones de toma de datos la contribución es 0.04% a 41.5 keV. Teniendo esto en cuenta, obtenemos una estimación final de la resolución de energía en el volumen total de  $(4.55 \pm 0.04) \%$  ( $(0.592 \pm 0.005) \%$  a  $Q_{\beta\beta}$ ) para la sesión a 7.2 bar y  $(4.53 \pm 0.04) \%$  ( $(0.589 \pm 0.005) \%$  a  $Q_{\beta\beta}$ ) para la sesión a 9.1 bar.

#### 4 Medidas de fondos inducidos de radón en el experimento NEXT

Se ha comprobado que el radón ( $^{220}\text{Rn}$  y en particular  $^{222}\text{Rn}$ ) debe tenerse en cuenta en experimentos subterráneos que exploran la desintegración doble beta sin neutrinos ( $\beta\beta 0\nu$ ) y las interacciones de materia oscura o de neutrinos solares. Las partículas  $\beta$  y  $\gamma$  producidas en las desintegraciones de la cadena del  $^{222}\text{Rn}$  son contaminantes potenciales en dichas búsquedas. En particular, las interacciones de las partículas  $\gamma$  de más alta energía (hasta 3.3 MeV) producidas en desintegraciones  $\beta$  del  $^{214}\text{Bi}$  pueden ser un contaminante relevante en experimentos  $\beta\beta 0\nu$ . Por esta razón, todo experimento  $\beta\beta 0\nu$  requiere de la monitorización y mitigación del

contenido de radón. En la figura 4 se muestra el esquema de la desintegración de la cadena natural del uranio ( $^{238}\text{U}$ ), comenzando desde  $^{222}\text{Rn}$  y terminando en el isotopo  $^{210}\text{Pb}$ . De manera similar,  $^{220}\text{Rn}$  es parte de la cadena de desintegración del torio ( $^{232}\text{Th}$ ), que también incluye varias desintegraciones  $\beta$  de relevancia para la búsqueda de fenómenos raros. El radón está presente en la atmosfera que rodea al detector. En el volumen del detector también puede encontrarse radón interno, vía la emanación de los materiales que forman el detector o a través de fugas de aire del entorno.

La sensibilidad de NEXT-100 a la desintegración  $\beta\beta 0\nu$  del  $^{136}\text{Xe}$  se muestra en [5], utilizando datos de calibración de radioactividad [16, 33, 34] y simulaciones Monte-Carlo. Se ha estimado que el fondo radioactivo es menor a  $4 \times 10^{-4}$  counts/(keV kg y), después de la selección de datos, en la región de energía de  $\beta\beta 0\nu$ , produciendo una sensibilidad de  $6 \times 10^{25}$  años tras una exposición de 275 kg año. Este estudio de sensibilidad incluye una contribución insignificante de fondos inducidos por el radón. El objetivo es probar esta hipótesis. En particular, nos centramos aquí en el radón interno dentro del aro de recirculación de xenón de NEXT, dado que se espera que el radón en el aire sea mitigado de manera muy efectiva en el experimento.

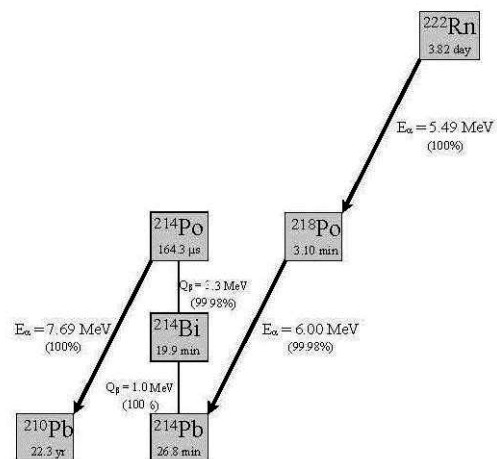


Figura 7.4: Parte del esquema de la desintegración  $^{222}\text{Rn}$  que puede producir contaminación relevante para la búsqueda de fenómenos inusuales.

#### 4.1 Partículas alfa de inducidas de radón

Se consideran tres periodos de la sesión de alfas. El primer periodo (A1) corresponde a un tiempo en el cual el filtro de gas a temperatura ambiente no se ha encendido. Este es el periodo utilizado para estimar la actividad interna de  $^{222}\text{Rn}$  para las sesiones de toma de datos en NEW y NEXT-100.

El segundo periodo (A2) corresponde al periodo cuando el filtro se conectó la primera vez (11-21 de abril de 2017). Se tomaron datos durante dos semanas, para medir la duración del electrón y monitorizar la alta actividad del radón inducida por el filtro en un periodo de tiempo. El tercer periodo (A3) corresponde a un segundo periodo de operaciones con el filtro de temperatura ambiente (de 18 de mayo al 12 de julio de 2017), generando una vez más una alta producción de alfas. La muestra A3 se utiliza para relacionar la producción de alfas con  $^{222}\text{Rn}$  inducido en el volumen de xenón restringido con los electrones producidas por la cadena del  $^{214}\text{Bi}$  en el cátodo.

La figura 7.5 muestra la evolución de la producción inclusiva de alfas durante A2. Los efectos de los tiempos muertos del sistema de adquisición de datos (DAQ) son relevantes, considerando que la tasa de desintegraciones está en los Hz y se utiliza una máscara a 15 Hz. Tal máscara implica que el DAQ no puede adquirir datos durante un periodo de  $1/15 \text{ s} = 66.7 \text{ ms}$  después de la desintegración. Dada la tasa de sucesos en cada sesión, se puede estimar la eficiencia DAQ tal y como sigue:

$$\epsilon_{\text{DAQ}} = 1 - R_{\text{trg}}/R_{\text{max}}$$

donde  $R_{\text{trg}}$  es la tasa de desintegraciones medido, y  $R_{\text{max}}$  es la tasa con la máscara. La tasa de producción alfa inclusivo tanto con corrección de eficiencia DAQ (Eq. 4.1) como

sin ella se muestra en la Fig. 7.4. La eficiencia de corrección del DAQ mejora enormemente la calidad del ajuste exponencial como se ve en la figura. La vida media exponencial obtenida con el ajuste durante el periodo A2 es  $T_{1/2} = (3.822 \pm 0.013) \text{ d}$ . Este valor coincide con la vida media del  $^{222}\text{Rn}$ ,  $T_{1/2} (^{222}\text{Rn}) = (3.8235 \pm 0.0003) \text{ d}$  [35], confirmando que las partículas alfa se inducen por desintegraciones del  $^{222}\text{Rn}$ .

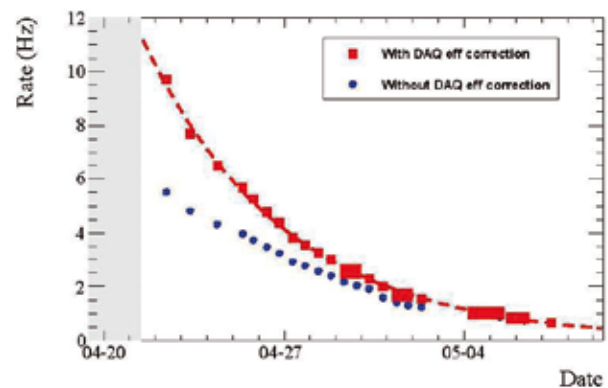


Figura 7.5: Evolución de la desintegración del radón durante el periodo A2, con y sin corrección de eficiencia DAQ. Se ha superpuesto un ajuste exponencial

#### 4.2 Medidas de la actividad de radón

La evolución temporal de la producción de alfas durante el periodo A2 identifica inequívocamente aquellas partículas como inducidas por la desintegración del  $^{222}\text{Rn}$  y su descendencia. Sin embargo, esta información no es suficiente para separar las contribuciones relativas de los emisores alfa  $^{222}\text{Rn}$  (5489 keV),  $^{218}\text{Po}$  (6002 keV) y  $^{214}\text{Po}$  (7687 keV) (ver tabla 2) y por tanto de proporcionar una medida absoluta de la actividad de radón. Además, otros emisores alfa pueden estar presentes, por ejemplo la desintegración de la cadena del  $^{222}\text{Rn}$ . Por esta razón, se ha llevado a cabo un análisis espectroscópico, con el objetivo de identificar los isotopos emisores alfa. Para poder reconstruir la energía cinética de manera más fiable, se ha definido una sub-muestra de candidatos alfa dentro de la muestra inclusiva. Los resultados

en la muestra seleccionada corresponden a las líneas solidas negras de la Fig. 6. El volumen seleccionado es  $20 < Z < 520$  mm y  $R < 178$  mm. El 54% de los candidatos alfa pasan el requerimiento espacial.

El espectro de energía de las partículas alfa obtenido durante los períodos A3 y A1 de actividad del radón se muestra en la Fig. 6. Para ambos periodos, se describen las poblaciones de  $^{222}\text{Rn}$  y  $^{218}\text{Po}$  por distribuciones gaussianas. Durante A3, es también visible un exceso de eventos compatible con  $^{214}\text{Po}$  (7687 keV) y ajustado con una tercera gaussiana. En el periodo A1, no se aprecian contribuciones de  $^{214}\text{Po}$ . Únicamente se utilizan en el ajuste las normalizaciones generales de los isotopos emisores alfa más la posición del pico y el ancho de la distribución de  $^{222}\text{Rn}$ . La posición del pico y ancho de la distribución del  $^{218}\text{Po}$  y  $^{214}\text{Po}$  se re-escalán con los parámetros de ajuste de la distribución de  $^{222}\text{Rn}$ , teniendo en cuenta las energías cinéticas conocidas de las partículas alfa.

Para el periodo A3, el ajuste indica que  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{218}\text{Po}$  y  $^{214}\text{Po}$  representan una fracción de  $(75.5 \pm 0.3) \%$ ,  $(24.1 \pm 0.2)\%$  y  $(0.041 \pm 0.008)\%$  de las partículas alfa producidas en el volumen seleccionado respectivamente. La suma de las producciones es compatible con el 100%. Para el periodo A1, el  $^{222}\text{Rn}$  y  $^{218}\text{Po}$  producidos representan un  $(61.0 \pm$

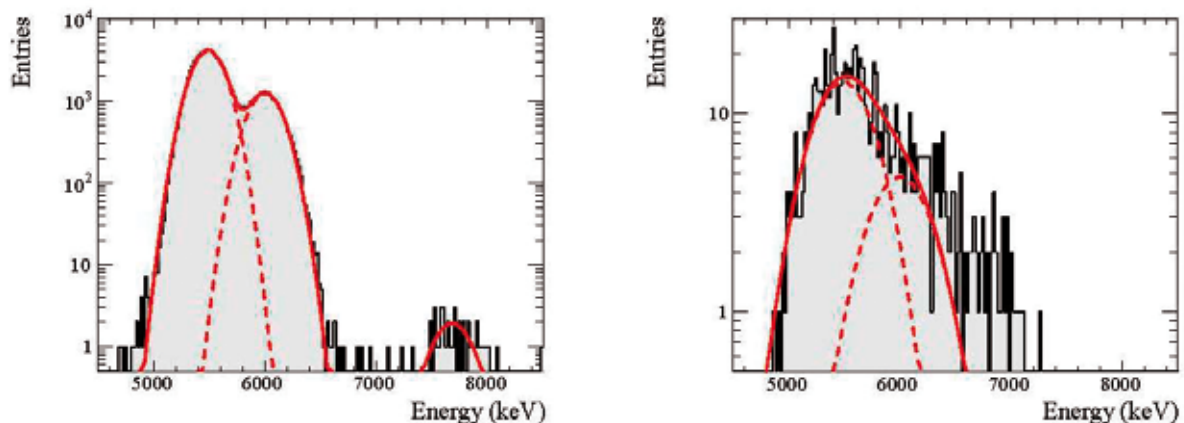
$3.7) \%$  y  $(21.1 \pm 2.9) \%$ , como fracción de las partículas alfa observadas. En este caso, una fracción de un 18% de los eventos alfa observados corresponden a otras fuentes no incluidas en el modelo.

La actividad específica del  $^{222}\text{Rn}$  ( $37.5 \pm 2.3$ ) mBq/m<sup>3</sup> dentro del volumen seleccionado se determina durante A1. La actividad específica del  $^{222}\text{Rn}$  aumenta en tres órdenes de magnitud durante A3, tomado únicamente seis días tras cerrar el filtro con emanación de  $^{222}\text{Rn}$  a temperatura ambiente.

### 4.3 Implicaciones para las búsquedas de desintegración doble beta

Finalmente, estudiamos el impacto de los fondos de radón inducidos en el programa de la física de NEXT. Seguidamente se explica las implicaciones de la desintegración doble beta en dos neutrinos ( $\beta\beta 2\nu$ ) del  $^{136}\text{Xe}$  en NEW, para la búsqueda de la desintegración doble beta sin neutrinos ( $\beta\beta 0\nu$ ) en NEXT-100.

Para NEW las desintegraciones del  $^{214}\text{Bi}$  del cátodo se han simulado a una presión de 15 bar, anticipando la presión de funcionamiento en las sesiones de toma de datos de física de NEXT con xenón enriquecido  $^{136}\text{Xe}$ . Únicamente se consideran eventos simulados con un mínimo de energía depositada de 600 keV. Se ha llevado a cabo una simulación realista



**Figura 7.6:** Distribución de energía para eventos candidatos de alfas en el volumen seleccionado durante los períodos A3 (panel izquierdo) y A1 (derecho). Se ha superpuesto un ajuste gaussiano triple al histograma A3 para describir las poblaciones de  $^{222}\text{Rn}$  (5489 keV),  $^{218}\text{Po}$  (6002 keV) y  $^{214}\text{Po}$  (7687 keV). Únicamente las producciones  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{218}\text{Po}$  se ajustan en el histograma de A1.

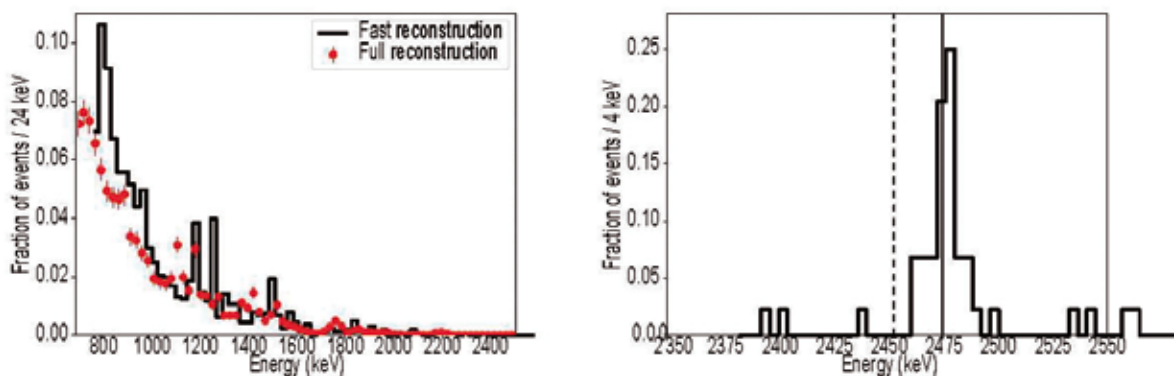
y completa. La energía y reconstrucción en la simulación de datos se ha obtenido utilizando los mismos algoritmos que se aplican a los datos reales.

El panel izquierdo de la Fig. 7.7 muestra la energía reconstruida para eventos de  $^{214}\text{Bi}$  simulados desde el cátodo en NEW, y que pasan todos los cortes de la Tabla 2. Se muestran las distribuciones normalizadas parados tipos de análisis: rápido y completo. El acuerdo entre los dos análisis sobre la forma de la distribución de la energía es excelente. Las deposiciones de energía con líneas de rayos gama son claramente visibles en 768, 1120 y 1764 keV. Además, los picos de doble escape de 1182 y 1426 keV de las líneas de rayos gama 2204 y 2448, respectivamente, son visibles. De la actividad específica de  $^{222}\text{Rn}$  durante A1,  $(37.5 \pm 6.3)$  mBq/m<sup>3</sup>, tal y como se describe en la sección 4.2, se ha estimado el fondo inducido por el radón para la próxima medida  $\beta\beta 2\nu$  en NEW. Asumimos concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  uniformes a lo largo del volumen completo (530.3 mm de longitud) y volumen reducido (130 mm longitud) con un radio de 198 mm.

La actividad total de  $^{222}\text{Rn}$  es por lo tanto  $(3.06 \pm 0.51)$  mBq. Se asume la misma actividad por desintegraciones de  $^{214}\text{Bi}$  en el cátodo. Para un ruido de fondo de  $6.2 \times 10^{-4}$  tras los cortes, tal y como el obtenido del análisis

completo  $\beta\beta 2\nu$  en la Tabla 2, se deduce un fondo inducido por el radón de  $(60 \pm 10)$  cuentas/año. Esta tasa es tres órdenes de magnitud más pequeña que la esperada en las desintegraciones de  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  and  $^{208}\text{Tl}$  junto a las impurezas atrapadas en los componentes del detector NEW. Por lo tanto los fondos inducidos por el radón son insignificantes en NEW.

También se han llevado a cabo simulaciones para desintegraciones de  $^{214}\text{Bi}$  en el cátodo de NEXT-100. La simulación, reconstrucción y análisis son análogos a los descritos anteriormente para NEW con dos excepciones. Primero, únicamente se ha realizado un rápido análisis de  $\beta\beta 0\nu$  como en [5], dado que las herramientas para realizar un análisis completo en NEXT-100 se encuentran todavía en desarrollo. Segundo, la selección de eventos se optimiza para la búsqueda  $\beta\beta 0\nu$ . Por lo tanto, se requiere un mínimo de energía depositada por evento de 2300 keV para el proceso, y la energía ROI se define por  $2453 < E_{\text{rec}} < 2475$  keV. Todos los demás pasos de reconstrucción y selección son idénticos a los descritos anteriormente, incluyendo el requerimiento de eventos no reconstruidos dentro de 20mm de los límites del volumen activo del detector. La tabla 2 muestra también un resumen de la reducción de sucesos de  $^{214}\text{Bi}$  en el cátodo de



**Figura 7.7:** Distribuciones de sucesos de energía reconstruidos para desintegraciones simuladas de  $^{214}\text{Bi}$  en el cátodo. Panel izquierdo: sucesos simulados en NEW a 15 bar pasando todos los cortes en  $\beta\beta 2\nu$ . Los histogramas en negro muestran la previsión del análisis rápido, los marcados en rojo el análisis completo. Panel derecho: eventos simulados en NEXT-100 a 15 bar y pasando cortes rápidos de  $\beta\beta 0\nu$  excepto el de la energía ROI, indicado por las líneas verticales discontinuas. Todas las curvas están normalizadas.



NEXT-100 para un rápido análisis de  $\beta\beta 0\nu$ . Debido al estricto requisito en la energía, se obtiene un fondo mucho menor,  $7 \times 10^{-8}$ . Podemos utilizar la Tabla 2 para estimar aproximadamente el rechazo del fondo de  $^{214}\text{Bi}$  en el cátodo de NEXT-100, con un análisis completo de  $\beta\beta 0\nu$  disponible. Con este fin, multiplicamos  $7 \times 10^{-8}$  por la tasa de aceptación del análisis rápido y completo de NEW, para obtener una aprobación de  $2.7 \times 10^{-7}$  aproximadamente.

El panel derecho de la Fig. 7 muestra la distribución de energía normalizada para sucesos de  $^{214}\text{Bi}$  en el cátodo de NEXT-100 pasando todos los cortes  $\beta\beta 0\nu$  exceptuando el de energía ROI.

La distribución está dominada por la línea de rayos gama 2448 keV de  $^{214}\text{Bi}$ , ubicada únicamente 10 keV por debajo del valor  $Q_{\beta\beta}$  de  $^{136}\text{Xe}$ . Los eventos del pico de energía reconstruido en la cola de alta energía de 2448 keV pueden pasar la selección de energía ROI, también mostrada en la figura con líneas verticales.

Escenario	Actividad $^{214}\text{Bi}$ cátodo (c/año)	Rechazo fondo	Región $\beta\beta 0\nu$ (cuentas/año)
Optimista	$(9.7 \pm 1.6) \times 10^4$	$7 \times 10^{-8}$	$(6.8 \pm 1.1) \times 10^{-3}$
Pesimista	$(6.0 \pm 1.0) \times 10^5$	$2.7 \times 10^{-7}$	$0.16 \pm 0.03$

**Tabla 2:** Tasas del fondo de radón inducido esperados en NEXT-100 bajo diferentes supuestos. Las aceptaciones de fondo y tasas de fondo se refieren a la selección  $\beta\beta 0\nu$ .

La tabla 2 muestra la tasa del fondo inducido por el radón esperado en las búsquedas  $\beta\beta 0\nu$  de NEXT-100, utilizando las medidas de actividad de radón de NEW en la Sección 4.2, y los fondos aceptados e indicados arriba. La predicción del fondo es más incierta en este caso, por dos razones. Primero, puesto que no hemos identificado la fuente de radón en la medida de NEW, existe algo de incertidumbre en cuanto a cómo la actividad total del  $^{222}\text{Rn}$  se extrapola de NEW a NEXT-100. En el escenario más optimista, la emanación de radón está dominada por componentes del sistema de gas externo a las vasijas del detector. Puesto que el mismo sistema de

gas está previsto para las operaciones de NEW y NEXT-100, en este caso la actividad total de  $^{214}\text{Bi}$  del cátodo sería la misma en ambos detectores. En un escenario pesimista, la emanación de radón está dominada por los componentes internos del detector, y el contenido total de radón crece con área de superficie del detector, unas 6 veces mayor en NEXT-100 que en NEW. Segundo, la falta de resultados de análisis completos en NEXT-100 introduce una incertidumbre que surge de cómo funciona el rechazo del fondo para esta topología de eventos. Para el escenario pesimista, tomamos el número de aceptación de fondo  $2.7 \times 10^{-7}$  dado anteriormente. Para el escenario optimista, asumimos  $7 \times 10^{-8}$ . A pesar del hecho de que este último número no está basado en una simulación y reconstrucción completa, consideramos que es una estimación realista esperable en mejores simulaciones acompañadas con mejoras en la reconstrucción y selección de eventos.

Como resultado, definimos dos escenarios extremos en la Tab. 2. El optimista asume el contenido de radón más bajo posible en el detector, y el mejor rechazo de fondo posible. En este caso se espera una tasa de fondo de radón inducido de  $(6.8 \pm 1.1) \times 10^{-3}$  cuentas/año. El escenario pesimista asume un alto contenido en radón y el peor número de rechazo de radón. Se espera un ratio de fondo de  $0.16 \pm 0.03$  cuentas/año en el escenario pesimista. Estos números deberían ser comparados con el fondo esperado de impurezas radioactivas en materiales del detector, que se estima están al nivel de (keV kg año), o 0.7 cuentas/año [5]. Por lo tanto, la medida del NEXT-White nos permite reducir el fondo de radón inducido para ser casi del mismo orden que las impurezas radioactivas del detector, y posiblemente mucho más pequeño. En cualquier caso, podemos concluir que los fondos inducidos de radón se mantendrán a un nivel tolerable

para el programa de física de NEXT-100. Se está llevando a cabo una campaña para cuantificar la emanación de radón del detector de NEXT y los componentes del sistema de gas, con el fin de identificar las fuentes de radón dominantes y a su vez reducir más las incertidumbres en la extrapolación de la medida de NEW a NEXT-100.

## 5 Demostración de sensibilidad al ión Bario único para la Desintegración Doble Beta utilizando imágenes de fluorescencia de molécula única

La SMFI (Imágenes de fluorescencia de molécula única) es una técnica inventada por físicos y desarrollada por bioquímicos que permite microscopía de alta resolución sensible a moléculas únicas. Entre sus aplicaciones se encuentran la detección de iones individuales [36], demostrada en varios ambientes, incluyendo dentro de células vivas [37]. Se utiliza un componente que no es fluorescente en aislamiento, pero se vuelve fluorescente mediante su quelación con un ion adecuado. La molécula normalmente consta de un tinte ligado a un receptor que atrapa el ion en una estructura tipo caja. Las fuerzas electrostáticas mostradas por el ion en el tinte modifican sus niveles de energía para permitir la fluorescencia molecular. La detección se beneficia de los desplazamientos inherentes del tinte, permitiendo la separación de la luz de emisión y excitación vía filtros dicróicos. Se pueden resolver espacialmente las emisiones de luz localizadas procedentes de moléculas únicas utilizando cámaras multiplicadoras de electrones CCD (EM-CCD), permitiendo el rechazo de los fondos de la dispersión y el bajo nivel de fluorescencia de moléculas no-queladas, las cuales son difusas.

La colaboración NEXT sigue un programa de I+D para detectar el ion bario en gas xenón

de alta presión (HPGXe) con técnicas de SMFI.

Para demostrar la sensibilidad única a  $Ba^{++}$ , hemos localizado iones  $Ba^{++}$  individuales en la superficie de soluciones de sal de bario diluida. Utilizamos la técnica de microscopía TIRF (reflejo total interno fluorescente a través del objetivo) para visualizarlas [38].

El sello de la fluorescencia de moléculas únicas es una repentina y discreta transición de foto-blanqueamiento [39]. Esto ocurre cuando el fluoróforo sufre una transición de un estado fluorescente a no-fluorescente, habitualmente vía interacciones con especies de oxígeno reactivo [40]. Esta discreta transición significa la presencia de un flúor único, en vez de la contribución de fluoróforos múltiples. El tiempo de escaneado de 375 s es significativamente más largo que el típico de foto-blanqueamiento de Fluo-3 en esta potencia de laser [40], con lo cual se observa que la mayoría de las manchas se blanquean en nuestras muestras.

En la Fig. 8 se muestra una trayectoria fluorescente cerca de la superficie. También se muestran en la Fig. 8 una exposición 0.5 s de esta mancha directamente antes del paso y una exposición de 0.5 s directamente después del paso.

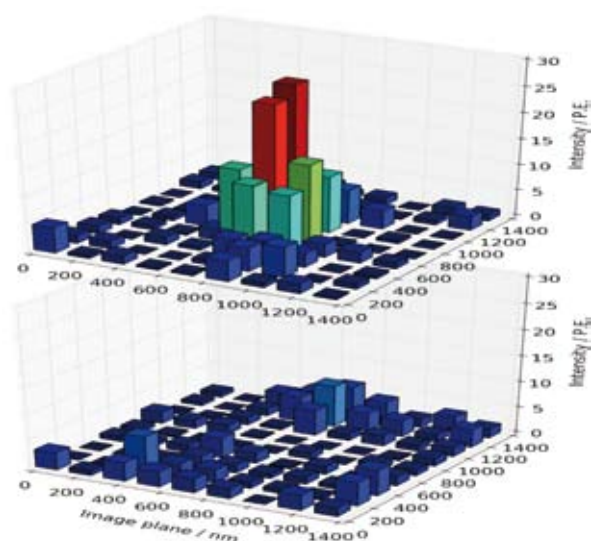


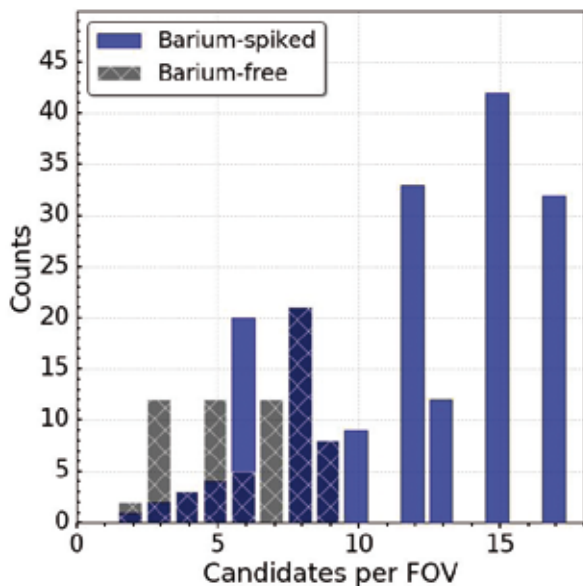
Figura 7.8: Un candidato único  $Ba^{++}$ . Una región fija de la cámara CCD se muestra con 0.5 s exposición (arriba) y después (abajo) de la transición foto-blanqueadora

Las muestras libres de bario y las espinadas de bario fueron analizadas sobre un total de 22 campos de visión (FoV) cada una.

A través de las muestras libres de bario, se resolvieron un total de 75 candidatas pasando todos los cortes. En las muestras espinadas de bario, se resolvieron un total de 187, representando un exceso estadístico de  $\sim 12.9 \sigma$ .

La relación de señal-a-fondo es mayor del sugerido por su comparativa, debido al sesgo de selección de campo, que requiere encontrar al menos una mancha brillante para poder enfocar. Se muestra el número de candidatos por FOV en la Fig. 7.9. En este histograma, cada entrada es ponderada por el número de candidatos observados, de tal manera que la integral es igual al número total de iones candidatos identificados.

Se cree que los candidatos en las muestras libres de bario derivan de la contaminación de residual de los iones en el agua. En sensores reales de marcado de bario este fondo no es problemático, puesto que la firma es la llegada de un nuevo ion en coincidencia con un evento registrado.



**Figura 7.9:** Histograma mostrando el número de candidatos por campo de visión en muestras libres de bario y en muestras con señal de bario. Los resultados están normalizados por el número de candidatos detectados.

La presencia de fluoróforos persistentes de fondo no oscurece esto, a no ser que sean tan pequeños que saturan la imagen.

El tamaño del FOV utilizado aquí y el nivel de la contaminación de la superficie sugieren que al menos 105 Ba<sup>++</sup> iones serán detectables por sensor antes de la saturación.

## 6 Resumen

Este informe resume el progreso llevado a cabo por la colaboración NEXT durante el 2017 en lo que respecta al análisis de datos adquiridos con el detector NEXT-White durante el sesión de toma de datos 2. Los resultados presentados incluyen: una medida de las propiedades de la deriva de los electrones en NEW, una medida de la resolución de energía que puede ser obtenida por deposiciones puntuales de energía (ej. desintegraciones de criptón), junto con el procedimiento para calibrar el detector, proporcionando mapas para corregir los efectos de duración del electrón en el medio y geométrico, una medida de partículas alfa en NEW, junto con un análisis exhaustivo del impacto esperado del radón en NEXT-100.

Estos últimos resultados son especialmente relevantes para el funcionamiento futuro del detector NEXT-100. Por último, presentamos demostraciones de la viabilidad de la identificación de Ba<sup>++</sup> utilizando SFMI.

Los datos de calibración obtenidos con <sup>137</sup>Cs están bajo análisis en la actualidad para determinar una primera estimación de la resolución de NEW en trazas grandes, así como para demostrar la separación entre señales de uno o dos electrones.

En resumen, la operación inicial del detector NEW muestra resultados prometedores en términos de funcionamiento del detector y fondo de radón.

## Agradecimientos

La Colaboración NEXT agradece el apoyo de las siguientes agencias e instituciones: the European Research Council (ERC) under the Advanced Grant 339787-NEXT; the European Union's Framework Programme for Research and Innovation Horizon 2020 (2014-2020) under the Marie Skłodowska-Curie Grant Agreements No. 674896, 690575 and 740055; el Ministerio de Economía y Competitividad under grants FIS2014-53371-C04, el Severo Ochoa Program SEV-2014-0398 y el María de Maetzu Program MDM-2016-0692; el GVA under grants PROMETEO/2016/120 y SEJI/2017/011; Portugués FCT y FEDER through the program COMPETE, projects PTDC/FIS-NUC/2525/2014 y UID/FIS/04559/2013; the U.S. Department of Energy under contracts number DE-AC02-07CH11359 (Fermi National Accelerator Laboratory), DE-FG02-13ER42020 (Texas A&M) and de-sc0017721 (University of Texas at Arlington); and the University of Texas at Arlington. También agradecemos la colaboración del Laboratorio Nazionale di Gran Sasso (LNGS) y Dark Side por su ayuda con el recubrimiento TPB de varias piezas de NEXT-White TPC. Finalmente, agradecemos al Laboratorio Subterráneo de Canfranc su acogida y soporte al experimento NEXT.

## Referencias

- [1] David Nygren. High-pressure xenon gas electroluminescent TPC for  $0 - \nu \beta\beta$ -decay search. *Nucl.Instrum.Meth.*, A603:337–348, 2009.
- [2] V. Álvarez et al. The NEXT-100 experiment for neutrinoless double beta decay searches (Conceptual Design Report). 2011.
- [3] V. Álvarez et al. NEXT-100 Technical Design Report (TDR): Executive Summary. *JINST*, 7:T06001, 2012.
- [4] J.J. Gomez-Cadenas et al. Present status and future perspectives of the NEXT experiment. *Adv. High Energy Phys.*, 2014:907067, 2014.

[5] J. Martín-Albo et al. Sensitivity of NEXT-100 to Neutrinoless Double Beta Decay. *JHEP*, 05:159, 2016.

[6] V. Álvarez et al. Initial results of NEXT-DEMO, a large-scale prototype of the NEXT-100 experiment. *JINST*, 8:P04002, 2013.

[7] V. Álvarez et al. Operation and first results of the NEXT-DEMO prototype using a silicon photomultiplier tracking array. *JINST*, 8:P09011, 2013.

[8] V. Álvarez et al. Near-Intrinsic Energy Resolution for 30 to 662 keV Gamma Rays in a High Pressure Xenon Electroluminescent TPC. *Nucl. Instrum. Meth.*, A708:101–114, 2012.

[9] P. Ferrario et al. First proof of topological signature in the high pressure xenon gas TPC with electroluminescence amplification for the NEXT experiment. *JHEP*, 01:104, 2016.

[10] F. Monrabal et al. The Next White (NEW) detector. 2018.

[11] A. Simón et al. Electron drift properties in high pressure gaseous xenon. 2018.

[12] G. Martínez-Lema et al. Calibration of the NEXT-White detector using  $^{83m}\text{Kr}$  decays. 2018.

[13] P. Novella et al. Measurement of radon-induced backgrounds in the NEXT double beta decay experiment. 2018.

[14] A. D. McDonald et al. Demonstration of Single Barium Ion Sensitivity for Neutrinoless Double Beta Decay using Single Molecule Fluorescence Imaging. *Phys. Rev. Lett.*, 120(13):132504, 2018.

[15] R. Felkai, F. Monrabal, Diego Gonzalez-Díaz, M. Sorel, N. López-March, et al. Helium-Xenon mixtures to improve topological signature in high pressure gas Xenon TPCs. 2017.

[16] S. Cebrián et al. Radiopurity assessment of the energy readout for the NEXT double beta decay experiment. *JINST*, 12(08):T08003, 2017.

[17] A. Simón et al. Application and performance of an ML-EM algorithm in NEXT. *JINST*, 12(08):P08009, 2017.

[18] C. A. O. Henriques et al. Secondary scintillation yield of xenon with sub-percent levels of  $\text{CO}_2$  additive for rare-event detection. *Phys. Lett.*, B773:663–671, 2017.

[19] B. Rebel et al. High Voltage in Noble Liquids for High Energy Physics. *JINST*, 9:T08004, 2014.

[20] V. Boccone et al. Development of wavelength shifter coated reflectors for the ArDM argon dark matter detector. *JINST*, 4:P06001, 2009.

[21] K. Lung, K. Arisaka, A. Bargetzi, P. Beltrame, A. Cahill, et al. Characterization of the Hamamatsu R11410-10 3-in. photomultiplier tube for liquid xenon dark matter direct detection experiments. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 696:32–39, December 2012.

[22] Sigma-aldrich.

<http://www.sigmaldrich.com/catalog/product/aldrich/483095?lang=es&region=ES>.

[23] A. Herzenberg. Attachment of slow electrons to oxygen molecules. *The Journal of Chemical Physics*, 51(11):4942–4950, 1969.

[24] M. Huk, P. Igo-Kemenes, and A. Wagner. Electron attachment to oxygen, water, and methanol, in various drift chamber gas mixtures. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 267(1):107 – 119, 1988.

[25] J. L. Pack, R. E. Voshall, and A. V. Phelps. Drift velocities of slow electrons in krypton, xenon, deuterium, carbon monoxide, carbon dioxide, water vapor, nitrous oxide, and ammonia. *Phys. Rev.*, 127:2084–2089, Sep 1962.

[26] J. L. Pack, R. E. Voshall, A. V. Phelps, and L. E. Kline. Longitudinal electron diffusion coefficients in gases: Noble gases. *Journal of Applied Physics*, 71(11):5363–5371, 1992.

[27] S. R. Hunter, J. G. Carter, and L. G. Christophorou. Low-energy electron drift and scattering in krypton and xenon. *Phys. Rev. A*, 38:5539–5551, Dec 1988.

[28] T. Koizumi, E. E. Shirakawa, and I. Ogawa. Momentum transfer cross sections for low-energy electrons in krypton and xenon from characteristic energies. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*, 19(15):2331, 1986.

[29] V. Álvarez et al. Ionization and scintillation response of high-pressure xenon gas to alpha particles. *JINST*, 1305:P05025, 2013.

[30] D. Lorca et al. Characterisation of NEXT-DEMO using xenon  $K\alpha$  X-rays. *JINST*, 9(10):P10007, 2014. [31] H. Kusano, J. A. M. Lopes, M. Miyajima, and N. Hasebe. Longitudinal and transverse diffusion of electrons in high-pressure xenon. *Journal of Instrumentation*, 8(01):C01028, 2013.

[32] G. Martínez-Lema et al. Calibration of the NEXT-White detector using 83m Kr decays. *JINST*, in preparation.

[33] V. Álvarez et al. Radiopurity control in the NEXT-100 double beta decay experiment: procedures and initial measurements. *JINST*, 8:T01002, 2012.

[34] S. Cebrián et al. Radiopurity assessment of the tracking readout for the NEXT double beta decay experiment. *JINST*, 10(05):P05006, 2015.

[35] Sukhjeet Singh, A. K. Jain, and Jagdish K. Tuli. Nuclear Data Sheets for A = 222. *Nucl. Data Sheets*, 112:2851–2886, 2011.

[36] Yin Lu and Matthew F. Paige. An ensemble and single-molecule fluorescence spectroscopy investigation of calcium green 1, a calcium-ion sensor. *Journal of Fluorescence*, 17(6):739–748, Nov 2007.

[37] N. Stuurman and R. D. Vale. Imaging single molecules using total internal reflection fluorescence microscopy, 2006.

[38] Thomas P. Burghardt. Measuring incidence angle for through-the-objective total internal reflection fluorescence microscopy. *Journal of Biomedical Optics*, 17(12):126007, dec 2012.

[39] Satoshi Habuchi, Ryoko Ando, Peter Dedecker, Wendy Verheijen, Hideaki Mizuno, et al. Reversible single-molecule photoswitching in the gfp-like fluorescent protein dronpa. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(27):9511–9516, 2005.

[40] D. Thomas, S. C. Tovey, T. J. Collins, M. D. Bootman, M. J. Berridge, et al. A comparison of fluorescent  $Ca^{2+}$  indicator properties and their use in measuring elementary and global  $Ca^{2+}$  signals. *Cell calcium*, 28(4):213–223, 2000.



# BiPo

## DECAIMIENTO DOBLE BETA SIN NEUTRINOS: CANFANC CON MODANE

<http://nemo.in2p3.fr/nemow3/>

El detector BiPo-3 está dedicado a medir la radioactividad natural a niveles extremadamente bajos de los radioelementos  $^{208}\text{Tl}$  (producido en la cadena de desintegración del  $^{232}\text{Th}$ ) y  $^{214}\text{Bi}$  (producido en la cadena de desintegración del  $^{238}\text{U}$ ).

BiPo-3 ha sido construido para medir la radioactividad residual en las fuentes de desintegración doble beta de SuperNEMO ya que una de las principales fuentes de ruido de fondo para este experimento es una posible contaminación en  $^{208}\text{Tl}$  y  $^{214}\text{Bi}$  en dichas fuentes.

El primer módulo de SuperNEMO contendrá 7 kg de  $^{82}\text{Se}$  en forma de láminas de 270 cm de largo, 13.5 cm de ancho y aproximadamente 200 mm de espesor. En total, 36 láminas serán necesarias. Las primeras 11 láminas han sido producidas en el laboratorio ITEP en Rusia siguiendo el mismo método que el usado para NEMO-3. Sin embargo, las primeras medidas con BiPo-3 de estas láminas resultaron en niveles cercanos a 20 mBq/kg para el  $^{208}\text{Tl}$ , demasiado altos para lo requerido para SuperNEMO. Una nueva técnica de producción de láminas ha sido entonces desarrollada en el laboratorio LAPP de Francia y además un nuevo método de purificación del Se ha sido puesto a punto en el laboratorio JINR en Rusia. Durante el año 2017 el detector BiPo-3 estuvo dedicado a medir las láminas producidas en LAPP. Con esto, se dan por terminadas las medidas de las fuentes de doble beta para el 'demostrador' de SuperNemo.

Este informe presenta: 1) los resultados finales de las láminas producidas en LAPP y 2) un resumen de resultados de radiopureza de los dos tipos de láminas mencionados más arriba.

### I Resultados de láminas producidas con purificación cromatografía y con nuevo método de fabricación

Una nueva técnica de purificación de  $^{82}\text{Se}$  ha sido desarrollada por el instituto JINR en Rusia, basada en el intercambio de iones gracias al método de cromatografía. El polvo de  $^{82}\text{Se}$  purificado de esa manera es luego mezclado con la goma alcohol Polyvinyl (PVA) y la mezcla extendida entre dos láminas de Mylar.

Las primeras laminas fuente doble beta fueron realizadas usando Mylar en el que previamente se han producido un gran número de orificios microscópicos, lo que asegurara una buena adherencia. Recordamos que los niveles de radioactividad del Mylar y del PVA han sido medidos previamente de manera independiente con el detector BiPo-3. Estas medidas mostraron que durante el proceso de producción de los orificios, se agrega una contaminación radioactiva residual al Mylar. Por esta razón, en la nueva técnica de fabricación, se usa el Mylar sin orificios (o Mylar bruto) y en este caso, las láminas no están adheridas al Mylar sino que este es usado como funda de protección.

Dos medidas se llevaron a cabo 1) del 15 de Diciembre 2016 al 19 de Marzo 2017 y 2) del 28 de Abril 2017 al 7 de Agosto 2017. Los resultados corresponden a una contaminación de la mezcla de  $^{82}\text{Se}+\text{PVA}$  de  $A(^{208}\text{Tl}) = 22 [8 - 54]$  mBq/kg a 90 % de nivel de confianza. Los datos del  $\text{BiPo}^{214}$  no muestran un exceso de eventos con respecto al ruido de fondo esperado por lo cual podemos dar un límite máximo para la mezcla de  $^{82}\text{Se}+\text{PVA}$  de  $A(^{214}\text{Bi}) < 595$  mBq/kg.

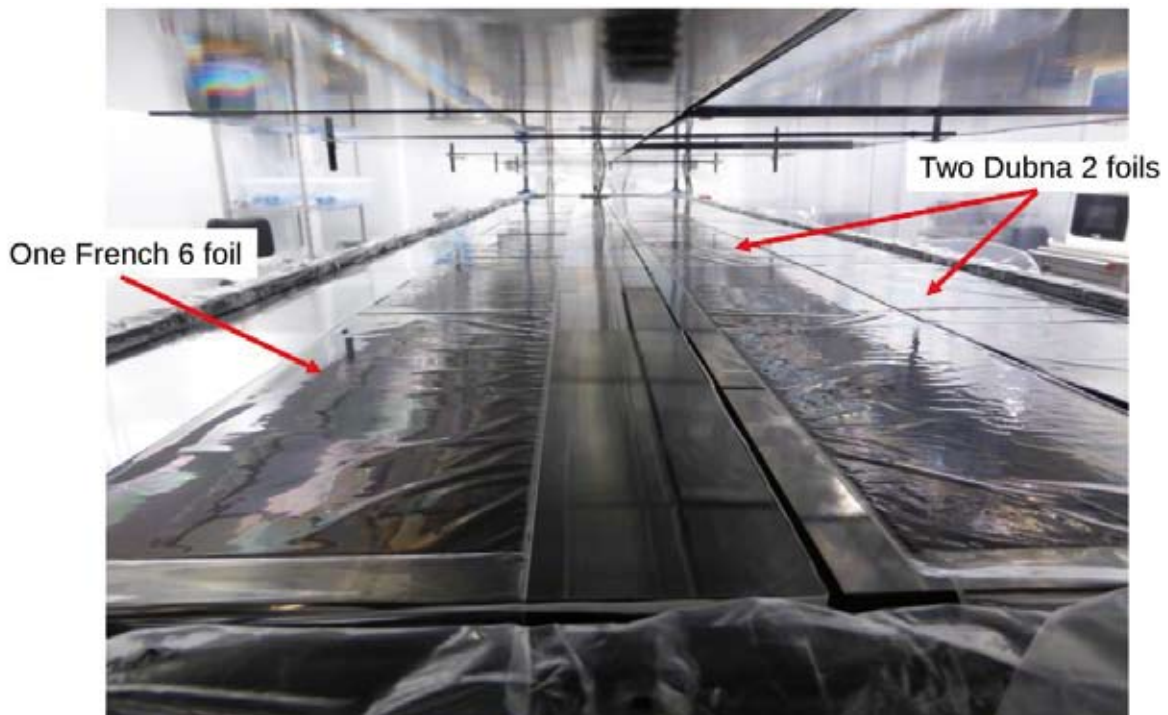
## 2 Resumen de resultados de la radiopureza de las láminas fuente para SuperNemo

En el cuadro 1 se resumen los resultados de radiopureza de las láminas fuentes fabricadas

con los dos métodos mencionados más arriba. Notemos que, bien que ambas láminas fuente han sido producidas con métodos de purificación y fabricación diferentes, los niveles de radiopureza son similares, dentro de la incertidumbre estadística.

Laminas fuente	Masa $^{82}\text{Se}$ (kg)	Purificación	Fabricación	$A(^{208}\text{Tl})$ $\mu\text{Bq/kg}$	$A(^{214}\text{Bi})$ $\mu\text{Bq/kg}$
1	1.95	Doble destilación	ITEP (Rusia) Usa Mylar con orificios	20 [11 - 32]	< 290 290 $\pm$ 290
2	1.5	Cromatografía	LAPP (France) Usa Mylar bruto	22 [8 - 54]	< 595

**Tabla 1:** Resultados de radiopureza de dos tipos de láminas fuente doble beta del 'demostrador' SuperNemo. La columna 'Masa  $^{82}\text{Se}$ ' se refiere a la masa total de este tipo de lámina en el 'demostrador'.



**Fig 8.1:** Láminas producidas por el LAPP instaladas para la medida en BiPo-3.



## SuperKGd

### BÚSQUEDA DE RADIOPUREZA: CANFRANC CON KAMIOKA

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/index-e.html>

El proyecto **SuperKGd-Isc** consiste en unas series completas de estudios y medidas de radio-pureza que estamos llevando a cabo en el LSC para la nueva fase del experimento Super-Kamiokande (SuperK-Gd) en el Observatorio de Kamioka (ICRR, U. Tokio, Japón) en la que se disolverá una sal de Gadolinio (Gd) en sus 50000 toneladas de agua.

Muy importante en el proyecto es la radio pureza de la sal de Gds ya que al ir disuelta, estará presente a lo largo de todo el volumen fiducial activo de Super-Kamiokande (más de 25000 toneladas). Durante los últimos años hemos conseguido establecer una colaboración extraordinariamente productiva con cuatro fabricantes de sales de Gd. A día de hoy estamos casi convencidos que de entre los cuatro saldrá el proveedor final de las 100 toneladas de  $Gd_2(SO_4)_3$  que contempla SuperK-Gd. Son tres japoneses: *Nippon Yttrium Co. Ltd.*, *Shinetsu Chemicals* and *Kanto Chemicals*, y un americano: *Molycorp Inc.* (alzo *Neo Performance Materials*). Con objeto de mantener la confidencialidad necesaria en éste estadio del proyecto nos referiremos a ellas como *empresas- A, B, C y D*. Nótese que el orden es diferente.

Conforme avanza el proyecto, **SuperKGd-Isc** mejora la precisión de sus medidas. Nuestro conocimiento de sus particularidades es mayor y mejor que antes. Además, las sales que medimos/analizamos son cada vez más puras lo que nos requiere tal mejora de la precisión. Hasta ahora hemos hecho uso de los excelentes detectores de Germanio de alta pureza del servicio de radio-pureza del LSC. Un próximo paso en la dirección de mayor precisión va a ser el uso del nuevo sistema "Inductively Coupled Plasma Mass

Spectrometer ICP-MS, que estás siendo puesto a punto actualmente en el LSC. Con él se medirá con incluso mejor precisión la concentración de isótopos radioactivos de muy larga vida media larga, en concreto U,Th, Ce, Lu y La.

Por otro lado, en el Observatorio de Kamioka, las preparaciones para la primera fase de SuperK-Gd, arreglar el tanque de Super-Kamiokande, van según lo planeado. Comenzará el 1 de junio de 2018 con la apertura del tanque. A partir de ese momento el tanque será vaciado progresivamente de agua y un "ejército" de técnicos y científicos trabajaran en su interior en las distintas tareas que son necesarias. Se estima que estos trabajos durarán hasta mediados de octubre de 2018.

Los resultados de **SuperKGd-Isc** y su impacto en el proyecto SuperK-Gd de Super-Kamiokande, han sido presentados en las Conferencias y Talleres de Trabajo más importantes del campo a nivel mundial. Aquellas presentaciones hechas por miembros del equipo **SuperKGd-Isc** son:

- *SuperK-Gd; Luis Labarga at "The Conference of the European Physical Society on High Energy Physics" (EPS-HEP 2017) "*, Venice (Italy), July 2017

Dos Tesis Doctorales, con el proyecto **SuperKGd-Isc** como una de las partes fundamentales del trabajo doctoral, han sido defendidas durante 2017:

- *Neutrino Physics In Present And Future Kamioka Water-Cherenkov Detectors With Neutron Tagging*; P. Fernández Menéndez, PhD.Thesis; UAM, marzo 2017
- *Radioactive Contamination in Neutrino Experimental Physics: the Cases of NEXT and*



Chain	Main subchain Isotope	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -201510-D Measured: 201510	GSF-1701-D-003	GSF-1705-D-001	GSF-1711-D-171111B	GSF-1711-D-171111A
<sup>238</sup> U	<sup>238</sup> U	1672 ± 122	< 45	< 11	< 52	< 168
	<sup>226</sup> Ra	< 2.8	0.4 ± 0.2	4.3 ± 0.6	< 1.1	2.0 ± 1.4
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ra	259 ± 6	28.5 ± 1.1	12.2 ± 1.0	300 ± 7	778 ± 39
	<sup>228</sup> Th	124 ± 3	6.3 ± 0.5	2.5 ± 0.4	31 ± 2	70 ± 3
<sup>235</sup> U	<sup>235</sup> U	28.7 ± 1.5	< 1.5	< 1.0	< 3	< 4
	<sup>227</sup> Ac/ <sup>227</sup> Th	< 14	< 5.5	3.4 ± 1.4	31 ± 5	46 ± 9
	<sup>40</sup> K	21 ± 6	< 1.0	< 1.8	27 ± 3	57 ± 4
	<sup>138</sup> La	< 3.2	< 0.25	< 0.36	< 2.4	< 2.4
	<sup>176</sup> Lu	5.9 ± 0.4	26.5 ± 0.8	6.1 ± 0.4	< 1.2	4.3 ± 0.6

**Tabla 1:** resumen de los resultados de medidas de las sales de Gd de la empresa-D. Las unidades son mBq/Kg; los límites son al 95% C.L. Las medidas de 2017 aparecen en las cuatro columnas de la derecha.

Super-Kamiokande Experiments; Javier Perez, PhD. Thesis; UAM, septiembre 2017

**Actividades.** Las medidas de radio pureza de muestras de sal de Gadolinio hechas durante 2017 se listan a continuación; se proporcionan ciertas explicaciones que las pone en contexto.

**1, 2, 3, 4;** Una muestra de Gd<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> de una nueva interacción en la producción por la empresa-D [GSF-1701-D-003] con el detector Asterix. Se observó una considerable reducción de Isótopos Radioactivos con respecto a la primera muestra proporcionada. Ver Tabla 1. Esto se consideró una buena noticia dada la falta de comunicación que teníamos con la empresa y que parecía indicar una reducción significativa de su interés en nuestro Proyecto. Por el contrario y casi al mismo tiempo, la empresa-D entregó una nueva muestra; ésta consistía de unos 5 Kg aproximadamente de Gd<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, de una nueva iteración de producción [GSF-1705-D-001]; detector Obelix. Mostró una mejora de casi un factor 2 en la cadena <sup>232</sup>Th con respecto a la anterior, observándose sin embargo un

deterioro en la parte inferior de la cadena <sup>238</sup>U (<sup>226</sup>Ra hacia abajo).

Dos muestras posteriores de Gd<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, de unos 5 kg. cada una, obtenidas de dos nuevas iteraciones de producción de la misma empresa-D [GSF-1711-D-171111A, GSF-1711-

Chain	Main subchain Isotope	GSF-1703-A-702142	GSF-1703-B- (RGD-OSF-005)
<sup>238</sup> U	<sup>238</sup> U	< 13	< 13
	<sup>226</sup> Ra	0.7 ± 0.4	< 0.34
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ra	< 0.39	< 0.39
	<sup>228</sup> Th	1.7 ± 0.4	< 0.28
<sup>235</sup> U	<sup>235</sup> U	< 1.3	< 0.77
	<sup>227</sup> Ac/ <sup>227</sup> Th	< 3.1	< 2.3
	<sup>40</sup> K	< 8.2	< 3.2
	<sup>138</sup> La	< 0.29	< 0.29
	<sup>176</sup> Lu	2.6 ± 0.3	< 0.29

**Tabla 2:** resumen de los resultados de medida de las muestras de sal de Gd producidas por empresa-A (izquierda) y empresa-B (derecha). Unidades: mB/Kg, límites: al 95% C.L.

D-171111B]; detector *geTobazo*. A pesar de la muy prometedora mejora que se obtuvo en la muestra anterior [GSF-1705-D-001], las nuevas mostraron contaminaciones mucho más grandes, inaceptables en varios órdenes de magnitud, particularmente en  $^{232}\text{Th}$ . Ver Tablas 1 y 5. Esta información relevante se transmitió a *empresa-D* para aquellas correcciones que consideraran oportuno.

**5;** Una muestra de  $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3$  de la *empresa-A* [GSF-1703-A-702142] con el detector *Obelix*. Hasta ahora, todas las muestras provistas por *empresa-A* eran pequeñas y producidas en los laboratorios de la empresa, y toda la información sobre Isótopos Radiactivos eran proporcionada por la empresa, a partir de medidas ICP-MS, con valores excelentes para  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$ . [GSF-1703-A-702142] era la primera muestra producida en la fábrica, mediante un proceso regular de producción, y también fue la primera muestra medida por detectores Ge, accediendo así a todas las cadenas radiactivas y también a otros isótopos con tiempos de vida intermedios. De hecho, nuestras medidas, que sí confirmaron la falta de isótopos  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$ , mostraron sin embargo contaminaciones pequeñas pero significativas de las partes más bajas de las cadenas. Tabla 2. Esta información se transmitió a *empresa-A* para cualquier posible corrección por su parte.

**6, 7, 8, 9;** Una muestra de  $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3$  de un nuevo lote de producción por *empresa-B* [GSF-1611-B-003] con el detector *Asterix*. Este lote se caracterizaba por el uso de un  $\text{H}_2\text{SO}_4$  extremadamente radio-puro en la última etapa de producción, en un intento de reducir aún más la ya excelente pureza lograda en la previa [GSF-1604-B-001]. Esta muestra se convirtió en la más limpia de todo el proyecto **SuperK-Gd-Isc** hasta ese momento (Tabla 3, junto con muestras anteriores de la *empresa-B*).

Una muestra  $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3$  de un nuevo lote

de “producción ultra-pura” de la *empresa-B* [GSF-1703-B-(RGD-OSF-005)], 3 Kg aprox., detector *Asterix*, con excelentes resultados (Tabla 3). Aprovechando una segunda muestra del mismo lote, que se había preparado para otros fines, pudimos realizar una prueba no trivial de la estabilidad y reproducibilidad de los resultados. Esta muestra se había enviado siguiendo un procedimiento bastante diferente, viajando por una ruta también diferente a la de las muestras regulares que normalmente recibimos. Además usamos un detector diferente para la medida, [GSF-1703-B-(RGD-OSF-005)-b], 3.4 Kg, detector *Obelix*. Ambas medidas son muy consistentes (Tabla 3), lo que respalda tanto la corrección de nuestros protocolos de medida como la uniformidad de la calidad dentro del mismo lote de producción.

Otra muestra más de un nuevo lote de producción de alta pureza de la *empresa-B* [GSF-1707-B-007], 5 Kg, detector *Asterix*. Esta muestra resultó ser la más limpia de todo el proyecto **SuperK-Gd-Isc** hasta el momento (Tabla 3, junto con muestras anteriores de la *empresa-B*) ... hasta que llegaron las últimas muestras de la *empresa-C*.

**10, 11, 12;** Tres muestras, de aproximadamente 5 Kg. cada una, de  $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3$  de la *empresa-C*. Cada muestra proviene de cada uno de los tres lotes de producción de 500 Kg de  $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3$  para disolver en el tanque de 200 toneladas EGADS en su fase como detector de Supernova [GSF-1710-C-170901, GSF-1710-C-170902 y GSF-1710-C-170903]. Las tres medidas se han llevado a cabo con el detector *Asterix*. Los resultados son excelentes: las muestras están dentro de las especificaciones para las cadenas de uranio y más limpias que nuestros límites de medida (que ya son muy buenos) para la cadena del Th. Tabla 4. Se concluye que *empresa-C* cumple las condiciones necesarias para la producción en masa del  $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3$  de SuperK-Gd.

Chaina	Main Sub-chain Isotope	GOX-1603-B-237	GOX-1603-B-239	GOX-1603-B-236	GSF-1604-B-1	GSF-1611-B-003	GSF-1703-B-(RG D-OSF-005)	GSF-1703-B-(RG D-OSF-005)-b	GSF-1707-B-007
$^{238}\text{U}$	$^{238}\text{U}$	< 68	< 130	< 36	< 25	< 13	< 10	< 19	< 10
	$^{226}\text{Ra}$	< 0.9	< 1.0	< 1.4	< 0.6	< 0.3	< 0.31	< 0.54	< 0.18
$^{232}\text{Th}$	$^{228}\text{Ra}$	< 2.7	< 2.3	< 1.4	< 0.7	< 0.3	< 0.30	< 0.74	< 0.21
	$^{228}\text{Th}$	< 2.5	< 1.4	< 0.8	0.9±0.3	< 0.4	< 0.33	< 0.43	< 0.26
$^{235}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	< 1.6	< 0.8	< 1.0	< 3.1	< 0.6	< 0.69	< 0.82	< 0.3
	$^{227}\text{Ac}/^{227}\text{Th}$	< 4.3	-	-	< 6.1	< 1.9	< 1.8	< 2.0	< 1.2
	$^{40}\text{K}$	< 4.6	< 5.3	< 3.4	< 2.1	< 1.8	< 1.5	< 2.5	< 0.9
	$^{138}\text{La}$	< 0.6	< 0.7	< 0.7	< 0.5	< 0.3	< 0.29	< 0.31	< 0.20
	$^{176}\text{Lu}$	< 0.8	< 0.7	< 1.6	0.4±0.3	0.4±0.1	< 0.46	< 0.41	0.4±0.1
	$^{134}\text{Cs}$	< 0.24	< 0.4	< 0.23	< 0.24	< 0.09	< 0.09	-	< 0.06
	$^{137}\text{Cs}$	< 0.3	< 0.34	< 0.30	< 0.24	< 0.16	< 0.12	-	< 0.12

**Tabla 3:** resumen de las medidas de muestras de sales de Gd por empresa-B producidas por el procedimiento específico a SuperK-Gd. Las unidades son mBq/Kg; los límites están en 95% C.L. Las medidas de 2017 se muestran en las tres columnas de la derecha.

### SuperKGd-Isc: los próximos años

Los detectores de Ge de alta pureza son dispositivos muy potentes para obtener una visión bastante completa de la contaminación radioactiva de un material determinado y además, alcanzan límites bastante estrictos en la medida de materiales de alta pureza.

La Tabla 5 muestra los muy restrictivos requisitos de radio pureza para un programa de física completo con SuperK-Gd. La parte inferior de la cadena  $^{238}\text{U}$  y la  $^{235}\text{U}$  completa

se obtienen ahora rutinariamente en las sales actuales por **SuperK-Gd-Isc**. Respecto a las sensibilidades al isótopo  $^{238}\text{U}$  y las partes superior e inferior de la cadena  $^{232}\text{Th}$ : a pesar de que las actuales son excelentes y pueden dar una evaluación casi definitiva de la calidad de la sal, sería deseable una mejora de un factor de aproximadamente 2. Esto, que es muy difícil de lograr con los detectores Ge, podría estar al alcance de la nueva instalación ICP-MS del LSC para los isótopos  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$ , debido a sus vidas medias muy largas.

Chaina	Main Sub-chain Isotope	GSF-1604-C-160303	GSF-1707-B-007	GSF-1710-C-170901	GSF-1710-C-170902	GSF-1710-C-170903
238U	<sup>238</sup> U	< 20	< 10	< 9.7	< 12	< 11
	<sup>226</sup> Ra	< 0.64	< 0.18	< 0.19	< 0.21	< 0.21
232Th	<sup>228</sup> Ra	< 0.67	< 0.21	< 0.24	< 0.26	< 0.30
	<sup>228</sup> Th	0.5 ± 0.2	< 0.26	< 0.28	< 0.31	< 0.30
235U	<sup>235</sup> U	< 0.7	< 0.3	< 0.35	< 0.41	< 0.42
	<sup>227</sup> Ac/ <sup>227</sup> Th	< 2.3	< 1.2	< 1.7	< 1.4	< 1.6
	<sup>40</sup> K	< 1.6	< 0.9	< 0.8	< 1.0	< 0.7
	<sup>138</sup> La	< 0.3	< 0.20	< 0.09	< 0.05	< 0.14
	<sup>176</sup> Lu	< 0.4	0.8 ± 0.1	0.13 ± 0.03	0.11 ± 0.04	< 0.14
	<sup>134</sup> Cs	< 0.1	< 0.06	< 0.08	< 0.06	< 0.07
	<sup>137</sup> Cs	< 0.1	< 0.12	< 0.13	< 0.10	< 0.11

**Tabla 4:** resumen de las medidas de las 3 últimas muestras de sales de Gd por empresa-C (ver texto para más detalles) mostrado en las tres columnas de la derecha; las otras dos columnas corresponden a los resultados de las mejores muestras previas, también de empresa-C (primera columna) y empresa-B (segunda). Unidades: mBq/Kg, límites: al 95% C.L.

Las sensibilidades necesarias están al nivel de 0.01 mBq / Kg.

Por otro lado, hemos detectado la presencia de Cerio (Ce) en algunas de las sales recibidas

de  $Gd_2(SO_4)_3$ ; notablemente la sal disuelta en el tanque de EGADS durante más de 2.5 años tenía aproximadamente 45 ppm de contenido de Ce. Ce actúa como desplazado de longitud

Radioactive chain	Part of the chain	SRN (mBq/kg)	Solar $\nu$ (mBq/kg)
<sup>238</sup> U	<sup>238</sup> U	< 5	-
	<sup>226</sup> Ra	-	< 0.5
<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ra	-	< 0.05
	<sup>228</sup> Th	-	< 0.05
<sup>235</sup> U	<sup>235</sup> U	-	< 3
	<sup>227</sup> Ac / <sup>227</sup> Th	-	< 3

**Tabla 5:** requisitos basados en la física de SuperK-Gd para las impurezas radiactivas en la sal  $Gd_2(SO_4)_3$ . (-) significa que el requisito correspondiente es menos restrictivo que el del otro proceso físico. SRN significa "Supernova Relic Neutrino" y los "solar  $\nu$ " relevantes son los de baja energía (por debajo de ~ 4 MeV de energía cinética).

de onda –desde los 250 nm hasta 350 nm, a los que Super-Kamiokande es sensible-, por lo que una consecuencia inmediata es el cambio de las distribuciones del tiempo de deriva medido. Estimamos que un contenido de Ce inferior a 50 ppb es inofensivo para la física de SuperK-Gd y que el Ce puede medirse fácilmente con ICP-MS con una precisión de  $\sim 10$  ppb.

El problema ha sido discutido con la Dirección del LSC que ha considerado también muy apropiado el proporcionar a **SuperK-Gd-Isc** estimaciones ICP-MS de  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ( $\sim 0.01$  mBq / Kg de resolución) y Ce ( $\sim 10$  ppb de resolución) de las muestras que se analizarán en el futuro.

### Expectativas para un futuro a medio y largo plazo.

La figura 1 presenta el esquema de un enfoque realista para todo el proceso de producción por parte de una de las cuatro empresas colaboradoras.

Un ejemplo de duración de proceso de producción es de 5 meses para 2 toneladas (incluida la compra de material, modificación de la instalación de secado, producción). Estas 2 toneladas se usarán para la producción de la resina ultra pura, en términos de contaminación radioactiva, que se utilizará para la eliminación adicional de U y Ra en el denominado pre-tratamiento (también se analizarán con **SuperKGd-Isc**). Las

10 toneladas de una primera carga (que se realizaría en un momento T1) se pueden producir en  $\sim 8$  meses (comprar material, modificar la línea de producción, producción). Se espera una superposición en esos dos períodos de producción.

El plan de la Colaboración SuperK-Gd para comprar  $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3$  de alta pureza es a) un pedido en firme de  $\sim 13$  toneladas de sulfato de Gd alrededor de junio 2018, b) de ellas,  $\sim 2$  toneladas se usarán para la producción de resina y estarán listas para el invierno de 2018 y c) las restantes  $\sim 10$  t serán para disolver en SuperK-Gd y estarán listas para el comienzo del FY2019 japonés.

Por lo tanto, anticipamos una actividad en la medida de Isotopos Radioactivos tipo producción-en-masa desde  $\sim$ octubre 2018 a mayo 2019 ( $\sim 13$  toneladas). Se espera un segundo periodo de una año de duración (tal vez más) para las 90 toneladas correspondiente a la carga completa (a disolver en el momento T2), que comenzara en  $\sim$ junio 2019.

Se medirá al menos una muestra de cada lote de la producción completa. Normalmente, un lote de producción corresponde a aproximadamente 500 kg. Por lo tanto, para las  $\sim 13$  toneladas del T1 se deben realizar aproximadamente 30 medidas, y 180 para las restantes 90 toneladas.

Tomando como tiempo de medida típico 20 días por muestra, un detector Ge a tiempo completo podría hacer frente a



Figura 1: aproximación realista al cronograma de producción completa por parte de uno de los productores de Gd de alta pureza. FY significa año fiscal japonés.

aproximadamente 18 muestras por año. Por lo tanto, durante los ~9 meses de duración de la producción en masa de las ~30 muestras de TI, necesitaríamos un poco más de 2 detectores de Ge a tiempo completo. Para las 180 muestras finales la estimación es de ~9 detectores Ge a tiempo completo durante el año largo de medidas.

Por lo tanto, el actual ~1 Ge-detector/año “reservado” a SuperKGd-lsc mas un segundo detector aprobado por la Dirección del LSC para los períodos de producción en

masa, proporcionan una contribución muy significativa al proyecto SuperK-Gd. Sin embargo, contribuciones adicionales serán útiles para el análisis de las 15 toneladas de TI, y absolutamente necesarias para las 90 toneladas finales. Esto sólo se puede lograr con contribuciones externas. **SuperK-Gd-lsc** lidera un esfuerzo mundial en tal dirección, que incluye el laboratorio subterráneo Bulby en el Reino Unido (a través del instituto colaborador en Super-Kamiokande U. Sheffield) y el propio Observatorio Kamioka.

## 10 GEODYN GEOFÍSICA BAJO TIERRA

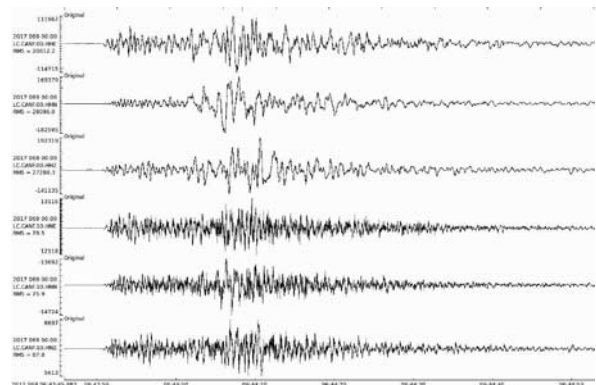
Geodyn es una instalación geodinámica destinada a monitorear la actividad sísmica y la deformación tectónica, utilizando dos estaciones de GPS continuas en la superficie y un sismómetro de banda ancha, un acelerómetro y dos medidores de deformación láser de alta resolución instalados dentro del túnel. Tres equipos diferentes se encargan de la gestión del equipamiento: ICTJA-CSIC, Barcelona (equipos sísmicos), Universidad de Barcelona (GNSS) y Universidad de Salerno, Italai ( Interferómetro láser).

### I Componente sísmica

El sensor sísmico de banda ancha Geodyn fue enviado a Nanometrics (Canadá) para su revisión en septiembre de 2016. Después de algunas demoras debido a problemas técnicos, el costo de reparación fue aprobado el 15 de marzo y el instrumento fue reparado durante el verano y reinstalado el 25 de octubre de 2017.

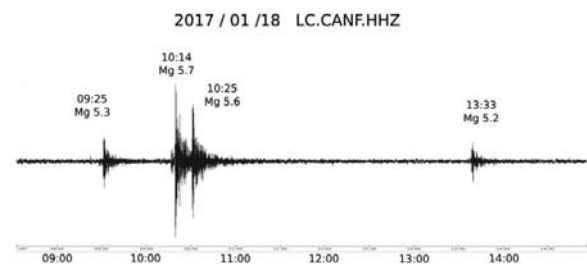
La adquisición de datos sísmicos durante este tiempo fue asegurada por un sismómetro Trillium I20 proporcionado por el ICTJA y recuperado durante la reinstalación de la instrumentación original. Toda la instrumentación sísmica han estado funcionando correctamente desde entonces.

Hasta 17 eventos locales con magnitud superior a 3.0 y 140 eventos con magnitud superior a 2.0 han sido catalogados por la red IGN en las proximidades del LSC durante el año 2017. Los eventos locales más significativos han sido el terremoto del 10 de marzo de 2017, con magnitud de momento 4.2 y epicentro cerca de Olave (Navarra) (Figura 1) y el evento del 26/4/2017, de magnitud 3.9 y con epicentro cerca de La Mongie, en la vertiente francesa de los Pirineos.



**Figura 10.1:** El terremoto del 10/3/17 cerca de Olave (Navarra) registrado por los seis componentes sísmicos de la estación de la CANF. Los trazos superiores corresponden al sismómetro de banda ancha (este-oeste, norte-sur y arriba-abajo) y los otros tres al sensor acelerométrico (este-oeste, norte-sur y arriba-abajo).

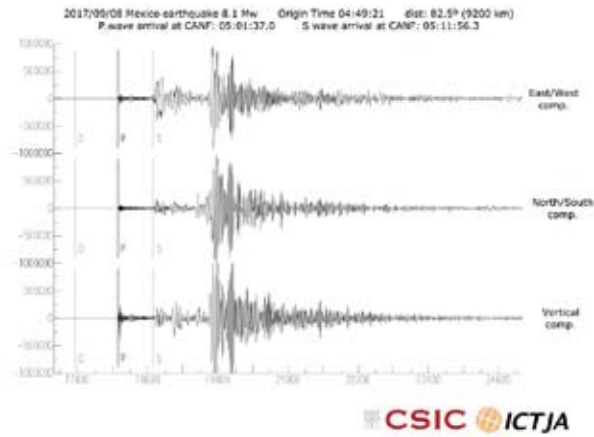
A escala regional, algunos de los eventos de la crisis sísmica en Italia central iniciada en 2016 se continuaron registraron a principios de 2017. Destacamos los cuatro eventos con magnitudes entre 5.2 y 5.7 registradas en un mismo día, el 18 de enero de 2017 (Figura 2).



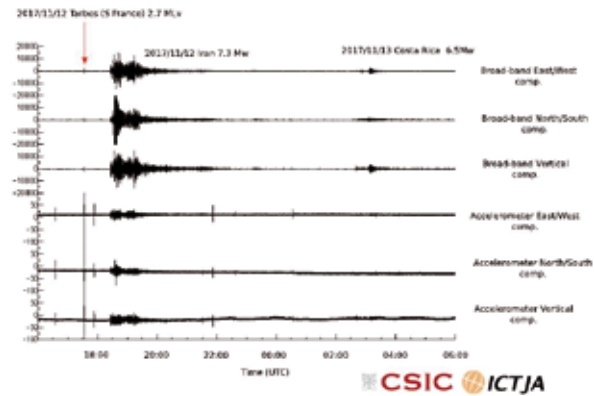
**Figura 10.2:** Registro de la componente vertical de los 4 eventos en Italia Central el 18/1/2017

En cuanto a la actividad telesísmica, hasta 39 eventos con magnitud superior a 6.5 se han incluido a escala mundial por el catálogo USGS durante 2017, 7 de ellos superior a la magnitud 7.0. Se puede destacar el terremoto de magnitud 8.1 Mw, con epicentro cerca de la costa del Pacífico de México (8/9 /17) y el terremoto de magnitud 7.3 Mw cerca de la frontera Irán-Irak. Las ondas sísmicas generadas por esos eventos se detectaron

claramente en la estación la CANF (Figuras 3 y 4).



**Figura 10.3:** El evento de magnitud 8.1 Mw con el epicentro en la costa del Pacífico de México, registrado en las componentes de banda ancha de la estación sísmica CANF. Se indica el tiempo de llegada para las ondas P y S.

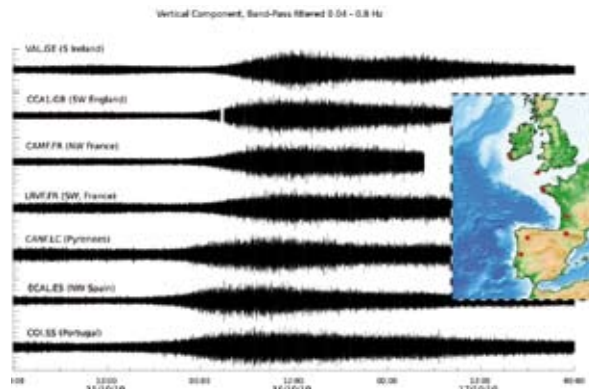


**Figura 10.4:** El evento de magnitud 7.3 Mw con epicentro cerca de la frontera Irán / Irak, según se registró en las 6 componentes de la estación CANF. La imagen incluye el registro del evento del día 13/11/17 con epicentro en Costa Rica, así como un evento local con epicentro situado cerca de Tarbes (2.7 MLv).

Durante 2017, los sensores sísmicos han continuado registrando también señales generadas por diferentes fuentes naturales y antropogénicas. A modo de ejemplo, la Figura 5 muestra las vibraciones generadas por el paso de tormenta Ophelia tal y como fueron registradas por diferentes estaciones sísmicas ubicadas en Europa occidental en octubre de 2010.

## 2 Componente de deformación

Después de algunos años con perturbaciones significativas en la adquisición de datos, los interferómetros y los sistemas de adquisición



**Figura 10.5:** El paso de la tormenta Ophelia detectada por estaciones sísmicas permanentes en Europa occidental (puntos rojos en el mapa del recuadro). Los datos se han filtrado entre 0.04 y 0.8 Hz para capturar la señal-

asociados fueron actualizados durante el año 2017 y han venido funcionando correctamente desde entonces. El interferómetro LAB780 está en funcionamiento desde diciembre de 2016 después de la sustitución del antiguo circuito magneto-térmico. El instrumento ha estado funcionando continuamente desde entonces, con algunas breves interrupciones debido a las labores de mantenimiento (ligera realineación de la óptica).

La fuente láser del interferómetro GAL16 fue devuelta a la empresa fabricante (MicroGLacoste) debido a un funcionamiento incorrecto detectado en el verano de 2017, pero el problema pudo solucionarse rápidamente y el instrumento está operativo desde septiembre de 2017. Mientras tanto, los técnicos de LSC han resuelto los problemas relacionados con la presencia de polvo y de ratones mediante la instalación de una nueva caja de protección para la óptica y un nuevo contenedor de la electrónica (consulte la Figura 6), que parecen haber dado el resultado



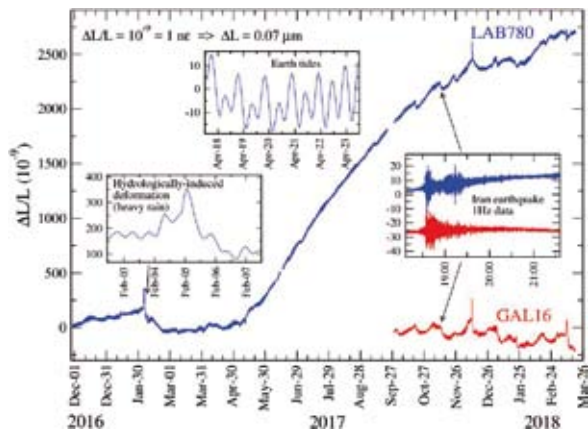
**Figura 10.6:** Nueva configuración del soporte principal del interferómetro GAL16



Los códigos de adquisición y pre-análisis han sido revisados a fondo, lo que permite ahora una conversión más rápida de las intensidades de luz del fotodiodo a tensión, manteniendo la misma precisión. La frecuencia de muestreo de las intensidades de luz del fotodiodo se ha aumentado de 600 Hz a 1000 Hz, lo que permite una mejor reconstrucción de las señales rápidas.

Cada pocas horas, se generan archivos de deformación a 100 Hz, 1 Hz y 0,1 Hz, preparados para su pre-análisis visual.

Un artículo técnico (Antonella Amoruso, Luca Crescentini, Alberto Bayo, Sergio Fernández Royo, Annamaria Luongo, “Dos medidores de tensión láser de alta sensibilidad instalados en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (España): características del instrumento de 100 a 0.001 mHz”) ha sido publicado en la revista Pure and Applied Geophysics (doi: 10.1007 / s00024-017-1553-7).



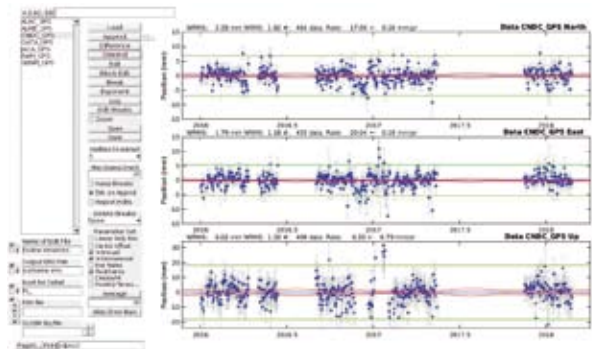
**Figura 10.7:** Datos de deformación registrados desde diciembre de 2016. Los insertos muestran ejemplos de señales típicas. Los datos se han decimado a 1 muestra cada 600 s (1 s para los straingrams del terremoto de Irán).

Desde mayo de 2017, el interferómetro LAB780 registra una dilatación pronunciada bastante inusual (Figura 7). Al final del año, esta dilatación muestra una tasa de incremento algo más lenta. Este cambio de ritmo parece excluir un origen hidrológico relacionado con la escasa precipitación durante 2017, si bien el origen de esta dilatación permanece de momento inexplicado.

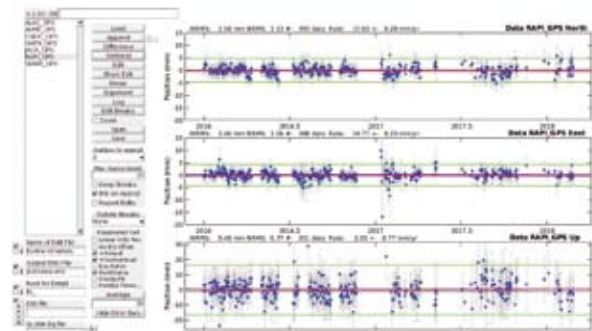
### 3 Componente de GNSS

Tras la instalación de dispositivos de memoria USB de gran capacidad durante el segundo semestre de 2016, las dos estaciones GNSS han estado funcionando correctamente durante los primeros meses de 2017.

Posteriormente, la estación CAND, ubicada en Candanchú, no ha estado operativa desde el 15 de mayo del 2017 debido a los problemas relacionados con la memoria externa o el módem. Afortunadamente, el receptor GNSS a continuado funcionando correctamente, almacenando en la memoria interna de la estación los datos adquiridos, que pudieron recuperarse posteriormente. Estos problemas se resolvieron el 15 de noviembre de 2017 al cambiar la tarjeta de memoria. Dado que el código CAND entraba en conflicto con otra estación del mismo



**Figura 10.8:** Captura de pantalla de las series temporales de la estación CNDC del 1/2/2016 al 1/3/2018 una vez corregido el trend. Algunas lagunas en los datos se deben a los archivos faltantes, y otras se deben al filtrado de los valores atípicos.



**Figura 10.9:** Captura de pantalla de las series temporales de la estación RAPI de 1/2/2016 a 1/3/2018, una vez corregido el trend. Algunas lagunas en los datos se deben a los archivos faltantes, y otras se deben al filtrado de los valores atípicos.

código CGPS previamente reconocida por la comunidad global, se ha optado por cambiar la abreviatura de 4 caracteres de CAND a CNDC.

La estación de RAPI, ubicada en Fuerte de Rapitán cerca de Jaca, ha venido operando con algunas interrupciones, en particular durante la segunda mitad del año.

Los datos de ambas estaciones se han descargado por el equipo de la Univ. De Barcelona semanalmente y los datos

registrados se han procesado para obtener las posiciones diarias para ambos sitios. Las Figuras 8 y 9 muestran los resultados del análisis preliminar de los datos de las estaciones CNDC y RAPI CGPS utilizando el software GAMIT / GLOBK del MIT.

Las velocidades que aparecen en la parte superior de las series temporales están en el marco de referencia ITRF2008 y deben transformarse en el marco de referencia fijo de Eurasia para facilitar la interpretación de los resultados.

## II GOLLUM

### VIDA EN AMBIENTES EXTREMOS

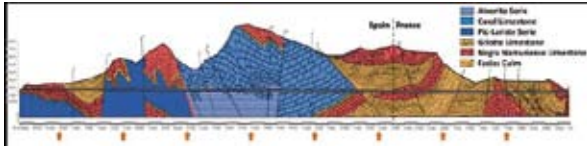


Fig. 11.1 Morfología de la roca alrededor del túnel ferroviario de Canfranc

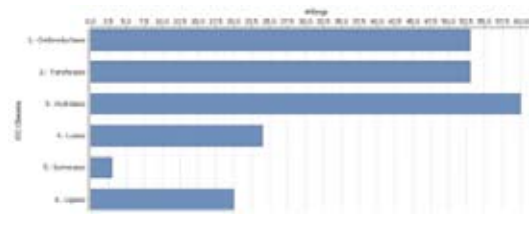
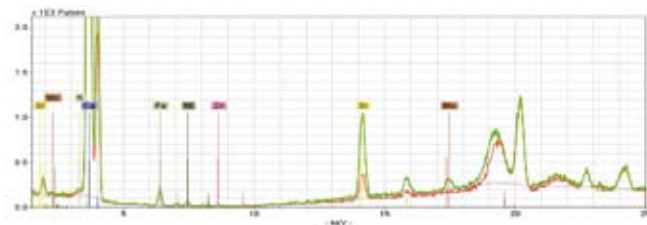
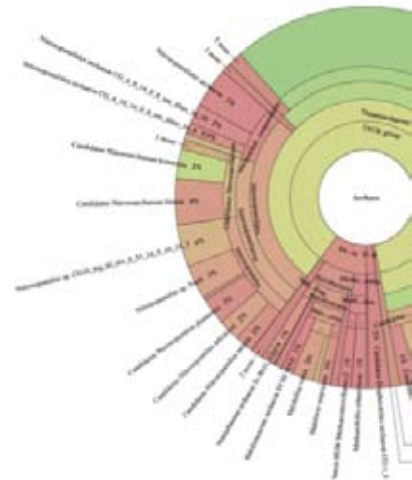
El túnel de Somport atraviesa diferentes tipos de roca sedimentarias formadas por acumulación de sedimentos durante el Mesozoico y Cenozoico. Su longitud, profundidad y diversidad ecológica lo hacen un lugar ideal para estudios ecológicos de extremófilos. En ambientes extremos, los principales organismos vivos pertenecen a los dominios bacteria y archaea. Se han descrito detalladamente los microorganismos subterráneos en muestras poco profundas, mayoritariamente compuestos por fotoautótrofos. Por contra, hay pocos estudios sobre los microorganismos que habitan en rocas internas, unas pocas decenas de kilogramos de muestras de un número pequeño de lugares, con datos que muestran una alta diversidad de taxones y metabolismos, incluyendo, entre otras, bacterias reductoras de azufre o hierro o productoras de metano.

El objetivo de Gollum es la caracterización detallada de las comunidades bacterianas residentes en varios tipos de roca a diferentes profundidades gracias a la secuenciación masiva de los genomas de las poblaciones presentes en las rocas (secuenciación metagenómica). Se han tomado muestras en diferentes profundidades y tipos de roca a lo largo del túnel con perforaciones de más un metro de profundidad, en la pared lateral a un metro de altura, para minimizar la contaminación externa. Se han desarrollado métodos de extracción de ácido desoxirribonucleico (ADN) adaptados al escaso material genético presente en la muestra, con severos controles de contaminación. Los recientes avances

tecnológicos en secuenciación masiva de nueva generación nos están permitiendo identificar multitud de géneros de los dominios bacteria y archaea en las muestras de roca analizadas, géneros que no son cultivables con las técnicas actuales. El éxito del desarrollo tecnológico en metagenómica se debe a que viene acompañado de métodos computacionales que permiten la clasificación metagenómica de grandes conjuntos de datos, manteniendo una clasificación precisa en el caso de la presencia de nuevos organismos de virus, procariotas, hongos y protistas.

GOLLUM ha realizado perforaciones en 14 posiciones distribuidas a lo largo del túnel en Mayo de 2016, en condiciones de esterilidad necesarias para la extracción y caracterización genómica de muestras con bajos niveles de ADN (se muestra un testigo fracturado para la preparación de muestras). Hemos desarrollado técnicas de preparación de polvo de roca (entre 10 y 100 micras) y protocolos de extracción de pequeñas cantidades de ADN en muestras carbonatadas (sensibilidad a una parte en diez mil millones en gramos de ADN por gramo de muestra). La secuenciación genómica del ADN extraído se realiza en los laboratorios de Sistemas Genómicos. La visualización del contenido en arqueas de una de las muestras analizadas en nuestro laboratorio se presenta en la figura adjunta. Se muestra el 4% de las lecturas de ADN clasificadas, que corresponden a especies de arqueas. Estas especies se han identificado con taxones descubiertos en fondos marinos.

Los estudios de la química de las rocas analizadas utilizando, entre otras técnicas, fluorescencia de rayos X, indican una correlación entre el contenido biológico en arqueas y la presencia de Molibdeno (Mo), metal identificado en



proteínas asociadas a la producción de metano. La figura a continuación indica la variabilidad de metales entre muestras con identificación positiva (espectro verde) y negativa de ADN (espectro rojo), en particular se identifica la presencia/ausencia de Mo. Los fragmentos de ADN obtenidos por secuenciación de genoma completo dan más información que la clasificación taxonómica de las especies. Gollum está explotando el potencial de estos datos para caracterizar las variaciones de las distribuciones de enzimas (ver figura) en función de la muestra, lo que permite correlacionar la actividad metabólica con el contenido metálico de las rocas.

Gracias al sencillo acceso a través del túnel a

distintas profundidades, el proyecto Gollum explora un ambiente extremo poco conocido, caracterizado por pocos nutrientes, diversos sustratos físico-químicos, bajos niveles de radiación y pequeñas fluctuaciones térmicas.

La presencia de ADN nativo es un éxito del experimento y abre la posibilidad de múltiples cuestiones, comenzando por cuestionar si corresponde a ADN reliquia o por el contrario hay arqueas vivas en la roca. El proyecto está analizando una compleja matriz de datos con consecuencias importantes en cuestiones fundamentales (origen de la vida, astrobiología) y aplicadas (bio-prospección, descubrimiento de nuevas especies con propiedades útiles).



## TREX-DM

### MATERIA OSCURA LIGERA CON UN DETECTOR GASEOSO

<http://gifna.unizar.es/trex/>

TREX-DM está orientado a la detección de partículas de Materia Oscura (WIMPs) de baja masa (inferior a  $\sim 10$  GeV). Las estrategias de búsqueda dominantes en el campo hasta ahora han estado centradas en WIMPs más pesados (con masas del orden de 100 GeV), los candidatos naturales esperados atendiendo al denominado “milagro de los WIMPs” (que genéricamente conecta su masa, su sección eficaz de aniquilación y su densidad fósil). Sin embargo, a pesar de muchos años de esfuerzo, y de impresionantes avances en la sensibilidad de los detectores, todavía no se han encontrado estos WIMPs “estándar”. Además, la Supersimetría, el entorno teórico (hipotético) más atractivo para dar cabida a estas partículas, no se ha manifestado experimentalmente en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN. Por todo ello, en la actualidad se está dedicando un creciente esfuerzo a considerar hipótesis alternativas, a priori menos estándar.

La opción de que los WIMPs tengan masas inferiores a 10 GeV es todavía posible en algunos modelos supersimétricos o, alternativamente, en otros marcos teóricos no necesariamente ligados a la Supersimetría. En tal caso, la materia oscura podría muy bien estar compuesta de WIMPs, pero estos no se habrían detectado en los experimentos habituales, independientemente de su sensibilidad. Ello es debido a que los retrocesos nucleares generados por los WIMPs de baja masa tienen energías que típicamente están por debajo del umbral de energía de los experimentos. Los detectores de materia oscura que poseen capacidad de discriminación entre retrocesos nucleares y electrónicos están limitados finalmente por el umbral de la discriminación. Tener sensibilidad a WIMPs de baja masa requiere

una estrategia experimental y unos retos tecnológicos distintos: en primer lugar, el foco se pone en alcanzar un bajo umbral en energía, y en segundo lugar, un bajo fondo radioactivo. La discriminación entre retrocesos nucleares y electrónicos no es posible a las energías de interés (1 keV e inferiores), y las fuentes de fondo en ese rango energético no están todavía bien caracterizadas.

Debido al relativamente mayor nivel del fondo, el tiempo de exposición del detector es menos relevante, y por ello detectores pequeños y ligeros pueden llegar a ser competitivos en términos de sensibilidad.

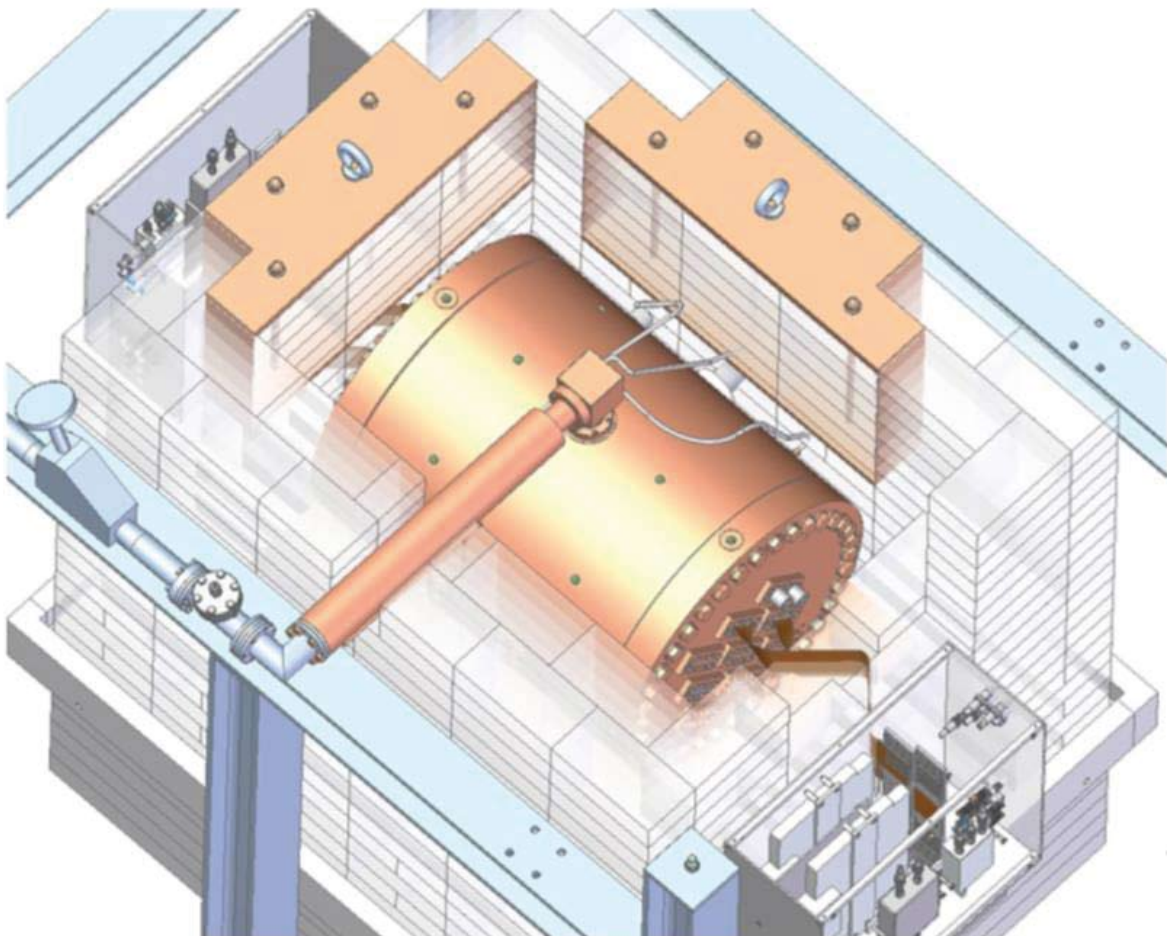
TREX-DM afronta estos retos con una estrategia de detección que es única en el campo. TREX-DM es una cámara de proyección temporal (TPC) gaseosa a alta presión con lectura de carga que utiliza como medio detector especies con un número atómico relativamente bajo (se están considerando mezclas de gases basadas en Argón o Neón). La amplificación de la señal inherente a los detectores gaseosos, combinada con los núcleos blanco ligeros, permite disponer de umbrales de energía muy bajos para un detector de materia oscura. El objetivo del detector actual de TREX-DM es alcanzar umbrales energéticos entre 0.1-0.4 keV (energía equivalente de electrones), con posibilidades de mejora en el futuro.

El detector ha sido construido con el máximo control de radiopureza y está rodeado por un castillo de plomo y cobre que actúa como blindaje de la radiación externa. La Figura 12.1 muestra el diseño del dispositivo completo, tal y como se dispondrá en su configuración final en el LSC. El cuerpo de la vasija se ha construido con cobre de alta pureza y todos los componentes están hechos con materiales

radiopuros, seleccionados tras un programa exhaustivo de análisis de materiales. El volumen sensible del detector está formado por dos cámaras TPC contiguas que comparten el cátodo de alto voltaje en el medio. La Figura 12.2 muestra el esquema de la vasija del detector y la capa interior de la cámara. La amplificación y recogida de carga se consigue mediante dos planos de lectura Micromegas, localizados en el extremo de cada una de las cámaras TPC. En la Figura 12.3 se muestra la imagen de uno de los planos Micromegas, instalado sobre una de las tapas del detector durante su instalación en el laboratorio. Las Micromegas han sido construidas con la técnica “microbulk”, caracterizada por los mejores niveles de radiopureza entre los distintos tipos de sensores, al estar fabricadas exclusivamente con kapton y cobre. Los planos de lectura están finamente pixelados

y se leen con electrónica de TPC de alta densidad y bajo ruido, localizada fuera del blindaje. La pixelización permite un cociente señal ruido mayor, y por tanto, menor umbral, además de localización de los eventos e información topológica. Los aproximadamente 1000 canales de señal se extraen de la vasija del detector y del blindaje mediante cables planos ultralimpios y conectores de contacto de alta densidad sin soldaduras. La tecnología microbulk y las soluciones técnicas para implementar una cámara TPC leída mediante Micromegas y altamente radiopura son el producto del Proyecto ERC TREX desarrollado en la Universidad de Zaragoza.

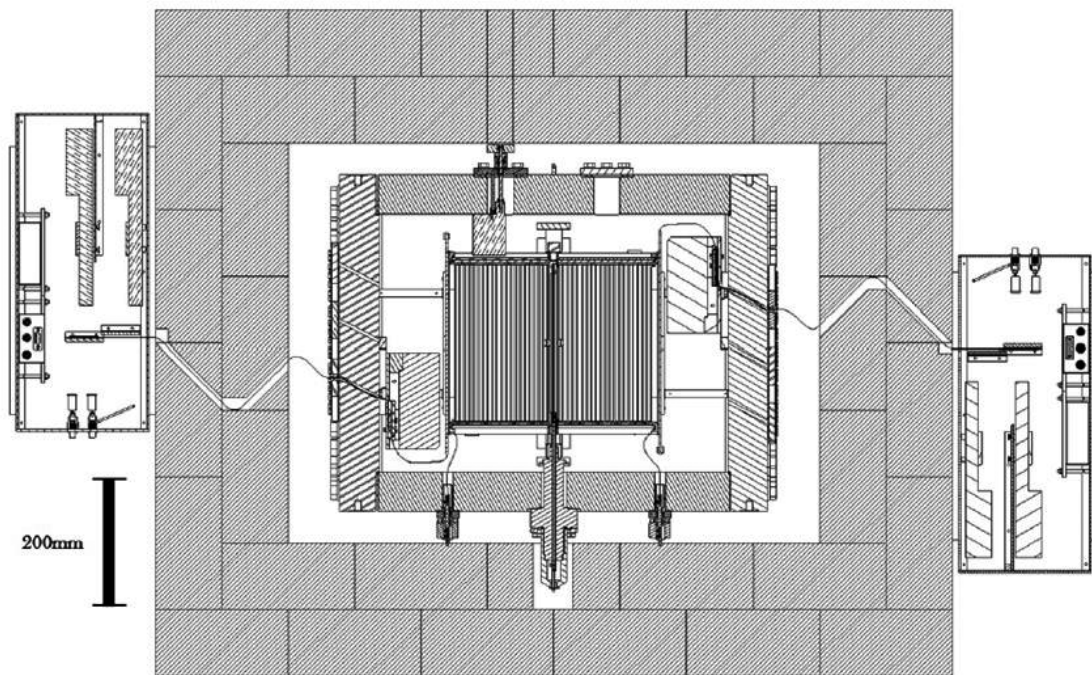
Durante 2017, se ha preparado el detector para la operación en subterráneo y se ha montado en superficie. En paralelo, se ha acondicionado el sitio experimental asignado



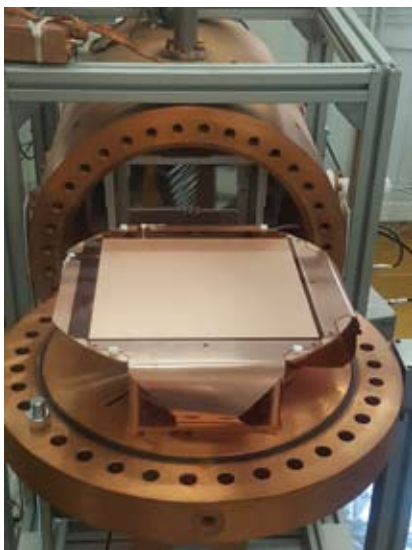
**Figura 12.1.-** Esquema del experimento TREX-DM, mostrando el detector rodeado por parte del blindaje.

en el LSC. A comienzos de 2018, el detector fue finalmente transportado al LSC. La Figura En los próximos meses, se espera que TREX-DM comience la toma de datos. Si se consiguen los parámetros experimentales anticipados en la fase de diseño, TREX-DM puede alcanzar una sensibilidad competitiva e alcanzar parámetros de WIMPs todavía sin

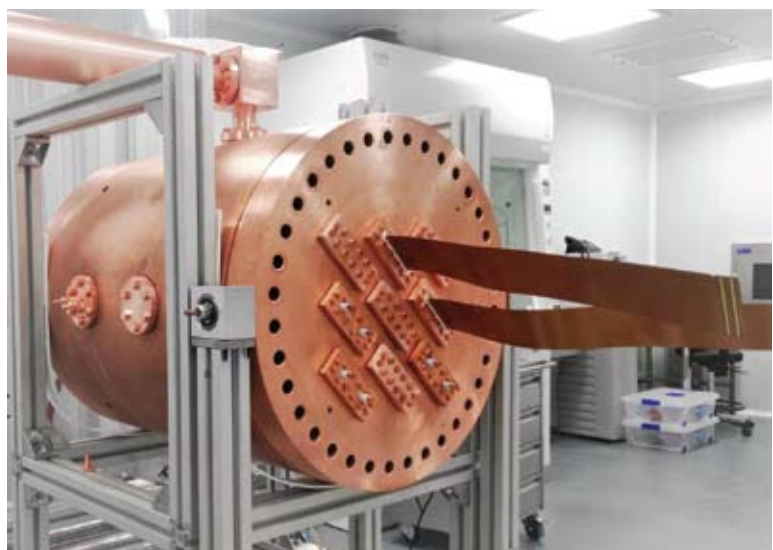
explorar en el rango de baja masa. En cualquier caso, TREX-DM será una herramienta muy valiosa para estudiar las fuentes de fondo en zonas de energía en torno y por debajo del keV, conocimiento que es crítico en la nueva frontera experimental que está emergiendo para bajas masas de WIMPs.



**Figura 12.2.-** Disposición del experimento mostrando la cámara TPC, la vasija de cobre, el blindaje de plomo y la electrónica de adquisición de datos a ambos lados.

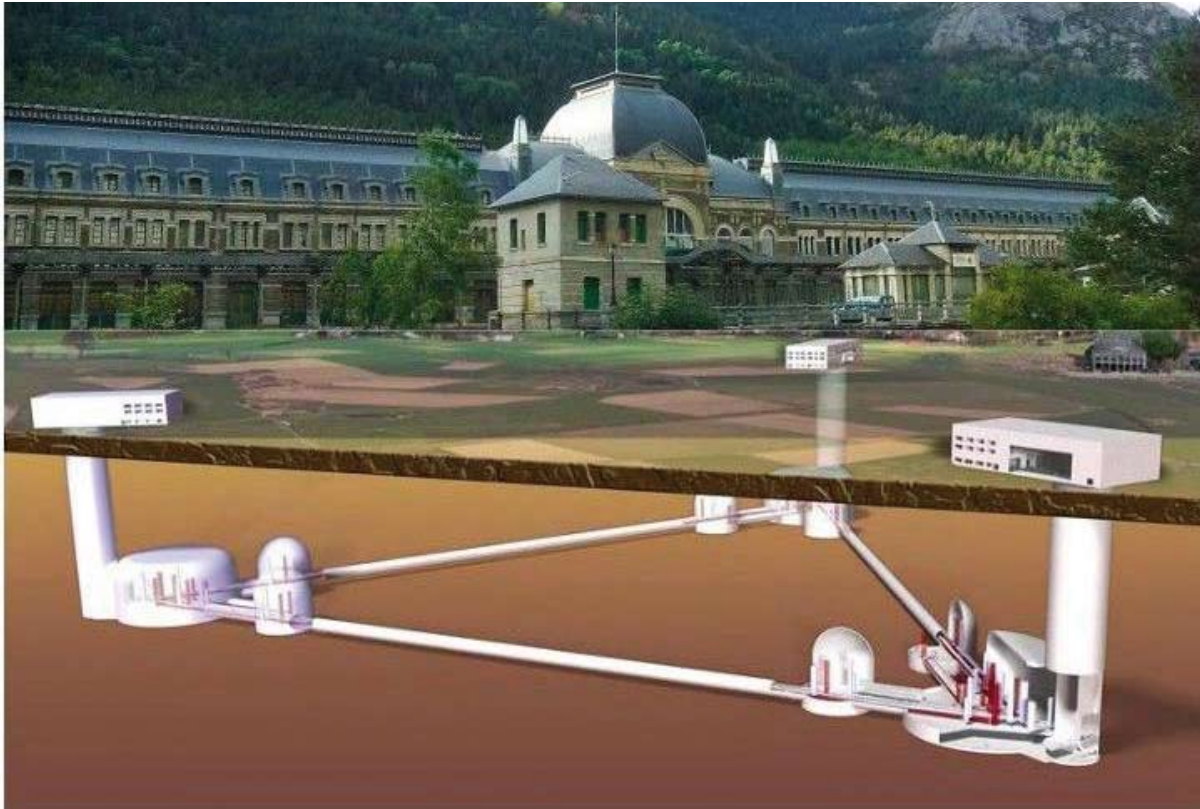


**Figura 12.3.-** Imagen de uno de los planos de lectura Micromegas, instalado sobre una de las tapas de la vasija del detector de TREX-DM.



**Figura 12.4.-** Imagen del detector de TREX-DM tras ser reensamblado en la sala limpia del LSC.

## 13 ETSEC EINSTEIN TELESCOPE, EXPLORADOR SÍSMICO EN CANFRANC



El Telescopio Einstein es un proyecto para la construcción de un detector de ondas gravitacionales altamente sensible de próxima generación. El proyecto ETSEC propone caracterizar el entorno sísmico en Canfranc con el objetivo de considerar su candidatura para la construcción del Telescopio Einstein.

La larga búsqueda de ondas gravitacionales se vio recompensada con el éxito en el 2016 de la primera detección de una fusión de dos agujeros negros por LIGO (Abbott et al 2016). Este descubrimiento marcó el arranque del comienzo de una nueva área científica – la astronomía de ondas gravitacionales. El detector LIGO comenzó a tomar datos de nuevo en el 2017 y se le unió VIRGO. Las observaciones conjuntas han permitido descubrir varios sistemas de nuevos agujeros negros binarios y la fusión

de estrellas de neutrones binaria GW170817 acompañada de un estallido de rayos gama. Este descubrimiento ha marcado el inicio de la astronomía de multi-mensajeros.

El comienzo de la astronomía de ondas gravitacionales ha provocado la aparición de diversas preguntas sobre el desarrollo futuro. Los instrumentos actuales se consideran los pioneros que marcaran el camino de los futuros instrumentos. Existen dos vías para el desarrollo de la astronomía de ondas gravitacionales. La primera consiste en buscar fuentes en otros rangos de frecuencia. El experimento LISA buscará ondas gravitacionales en un régimen de baja frecuencia. La segunda es la construcción de telescopios que permitan rastrear el universo con una sensibilidad mucho mayor en la misma, o ligeramente aumentada, banda de



frecuencia. El proyecto Telescopio Einstein (Punturo 2010a) pretende alcanzar este objetivo.

El proyecto Telescopio Einstein pretende construir una serie de interferómetros bajo tierra con un brazo de 10 km de longitud. La principal razón de que se construya bajo tierra es la de conseguir una mayor sensibilidad en bajas frecuencias, por debajo de 10Hz. En esta banda la sensibilidad se encuentra limitada por el ruido sísmico pero en la sensibilidad que se espera del Telescopio Einstein el gradiente de la gravedad o del ruido Newtoniano es una fuente de ruido importante. Se conoce que el ruido sísmico disminuye bajo tierra. Las medidas preliminares del nivel de ruido sísmico en Canfranc se llevaron a cabo con anterioridad (Beker 2015), y ha probado ser una de las ubicaciones más silenciosas sísmicamente de las que se están teniendo en consideración. Sin embargo, esto se basa en una corta extensión de datos, tomados en una única ubicación.

Los requisitos para el Telescopio Einstein no se han formalizado todavía. Aun así, estamos buscando ubicaciones con un ruido sísmico muy pequeño en el rango de 0.1 a 20Hz. Además, el ruido en la ubicación debería ser estable con escasa o ninguna variación diaria o estacional. Aun más, la ubicación debería ser accesible y poseer una infraestructura disponible además del apoyo científico. La zona de Canfranc es un muy buen candidato para la construcción del Telescopio Einstein, aunque queda por caracterizar el ruido del tráfico que proviene del túnel carretero. A parte de todo esto, el túnel ferroviario de Canfranc con las galerías de evacuación que lo conectan al túnel carretero constituye un entorno muy adecuado para estudiar la propagación de las ondas sísmicas y un buen laboratorio para modelar el ruido Newtoniano.

ETSEC está llevando a cabo las medidas de

ruido sísmico en Canfranc con el objetivo de caracterizar la zona como una posible ubicación para el Telescopio Einstein. En particular, se va a caracterizar:

- El nivel de ruido sísmico
- La variación del ruido sísmico en función de la hora del día
- La variación del ruido sísmico según las estaciones
- Recopilar datos para modelar el ruido newtoniano

Con este fin hemos instalado seis sismómetros sísmicos sincronizados. La duración de este proyecto es de tres años aproximadamente. Aunque la medición del ruido sísmico puede llevarse a cabo en un periodo mucho más corto de tiempo, se pretende medir la variación estacional del ruido, de ahí el periodo tan extenso propuesto. Las medidas se toman con sensores sísmicos hechos a medida. El sensor único utiliza tres ejes de sismómetro, uno para medida vertical y dos para las horizontales. Estos tres sensores están montados en la caja metálica que se puede ver en la Figura 13.1.



*Fig.13.1: El sensor sísmico montado sobre una placa de acero. Los dos conectores superiores son utilizados para la comunicación de datos, mientras que el inferior se utiliza para el suministro de potencia.*

Los sensores están conectados en serie de tal manera que el ruido sísmico se mide por todos los sensores al mismo tiempo. En esta configuración los cables conectores entre los sensores se utilizan para la transmisión de

datos y para la sincronización de todos los sensores. Los datos de los sensores se graban por la unidad de adquisición de datos (DAU) ubicada en el Laboratorio 2500. Cada sensor utiliza el cable de comunicación entrante del sensor anterior o DAU y el saliente para el siguiente sensor. El tercer conector suministra potencia de 230 V. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de la conexión de los sensores.

Durante el 2017, los trabajos en Canfranc se basaron principalmente en labores de preparación. Estas incluyeron:

- I. Selección de las ubicaciones para los sensores
2. Obtención de los permisos necesarios para la instalación
3. Construcción de los soportes de hormigón para los sensores
4. Preparación del equipamiento en Varsovia
5. Envío de equipamiento a Canfranc
6. Instalación de los sensores y toma inicial de datos

El equipo ETSEC está llevando a cabo el análisis de datos en este momento y adquiriendo nuevos datos para completar el programa científico.

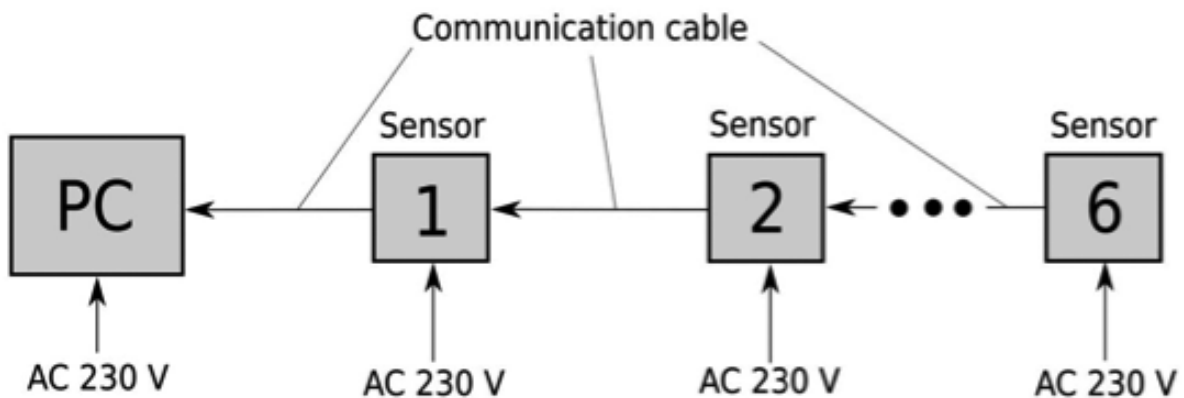


Fig.2: Diagrama de conexión de seis sensores sísmicos





## PUBLICACIONES 2017

Review of technical features in underground laboratories Ultra-low background and environmental measurements at Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) S. Borjabad et al., ARI journal volumen 126 (August 2017, ISSN 0969-8043)

Applied Radiation and Isotopes 126 (2017) 127-126

I. Bandac et al., El Sevier

<http://dx.doi.org/10.1016/j.apradiso.2016.12.038>

Characterization of a CLYC detector for underground experiments

A. Ianni, I. Bandac et al., arXiv:1710.02420v1, 6 Oct 2017

<http://arxiv.org/abs/1710.02420v1>

The ANAIS-112 experiment at the Canfranc Underground Laboratory, J. Amaré et al.

Contributed to the TAUP2017 Conference, Sudbury, Canada, July 2017.

<https://arxiv.org/abs/1710.03837>

Annual modulation of dark matter: the ANAIS-112 case, I. Coarasa et al.

<http://arxiv.org/abs/1704.06861>

Light yield determination in large sodium iodide detectors applied in the search for dark matter, M.A. Oliván et al.

Astroparticle Physics 93 (2017) 86-95

<https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2017.06.005>

<http://arxiv.org/abs/1703.01262>

The ANAIS Dark Matter Project: Status and Prospects, J. Amaré et al.

Proceedings of the 14th Marcel Grossmann Meeting, July 2015, Rome, Italy.

Published by World Scientific, Dec 2017. Edited by M. Bianchi, R. Jantzen & R. Ruffini.

ISBN: 978-981-3226-59-3. pg 2414 – 2419.

<http://arxiv.org/abs/1601.01184>

[http://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/9789813226609\\_0283](http://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/9789813226609_0283)

The NEXT Collaboration (C.A.O. Henriques et al.), Secondary scintillation yield of xenon with sub-percent levels of CO<sub>2</sub> additive for rare-event detection, Phys.Lett. B773 (2017) 663-671.

The NEXT Collaboration (C. Azevedo et al.), Microscopic simulation of xenon-based optical TPCs in the presence of molecular additive, Nucl.Instrum.Meth. A877 (2018) 157-172.

The NEXT Collaboration (S. Cebrián et al.), Radiopurity assessment of the energy readout for the NEXT double beta decay experiment, JINST 12 (2017) n°.08, T08003.

The NEXT Collaboration (A. Simón et al.), Application and performance of an ML-EM algorithm in NEXT, JINST 12 (2017) P08009.

The NEXT Collaboration (J. Renner et al.), Background rejection in NEXT using deep neural networks, JINST 12 (2017) n°.01, T01004.

L. Crescentini et al, Two High-Sensitivity Laser Strainmeters Installed in the Canfranc Underground Laboratory

ArDM Collaboration, Calvo, J., et al. "Backgrounds and pulse shape discrimination in the ArDM liquid argon TPC", e-Print: arXiv:1712.01932 (2017).

ArDM Collaboration, J. Calvo et al., "Commissioning of the ArDM experiment at the Canfranc underground laboratory: first steps towards a tonne-scale liquid argon time projection chamber for Dark Matter searches," Journal of Cosmology and Astroparticle Physics 2017 (2017) 003, e-Print: arXiv:1612.06375 [physics.ins-det].

The ArDM Liquid Argon Time Projection Chamber at the Canfranc Underground Laboratory: a ton-scale detector for Dark Matter Searches  
JCAP03(2017)003 doi:10.1088/1475-7516/2017/03/003

Backgrounds and pulse shape discrimination in the ArDM liquid argon TPC  
arXiv:1712.01932 [physics.ins-det] submitted to JCAP

Martí JM, Martínez-Martínez D, Rubio T, Gracia C, Peña M, Latorre A, Moya A, P Garay C. 2017. 16.

Health and disease imprinted in the time variability of the human microbiome. mSystems 2:e00144-16 <https://doi.org/10.1128/mSystems.00144-16>

TREX-DM: a low-background Micromegas-based TPC for low-mass WIMP detection  
I Garcia Irastorza et al., Eur. Phys. J. C (2016) 76: 529

*The BiPo-3 detector.* P. Loaiza et al. [SuperNEMO Collaboration]. Appl. Radiat. Isot. 123, 54 (2017).

The BiPo-3 detector for the measurement of ultra low natural radioactivities of thin materials. A. S. Barabash et al. [SuperNemo Collaboration]. JINST 12 P06002 (2017).

## Tesis

M. Nebot Guinot, Calibration and background model of the NEW detector at the LSC. 27 Septiembre 2017

Javier Pérez, Radioactive Contamination in Neutrino Experimental Physics: the Cases of NEXT and Super-Kamiokande Experiments, Septiembre 2017.

A. Simón Estevez, Event reconstruction in NEXT using a ML-EM algorithm. 15 de Septiembre 2017

J. Rodriguez, Study and design of the front-end and readout electronics for the tracking plane in the NEXT experiment. 26 Julio 2017

**A lo largo del 2017 los usuarios del LSC han realizado 15 presentaciones en Conferencias Internacionales.**



## ÓRGANOS DE GOBIERNO

### Consejo Rector

Juan María Vázquez Rojas, Secretario General de Ciencia e Innovación, Ministerio de Economía y Competitividad

Maite Gálvez Jaqués, Directora General Técnica del Departamento de Innovación, Investigación y Universidad, Gobierno de Aragón

Luis Miguel García Vinuesa, Vicerrector de Política Científica, Universidad de Zaragoza

Ángela Fernández Curto, Subdirectora General Adjunta de Grandes Instalaciones Científico Tecnológicas, Ministerio de Economía y Competitividad

Marina Villegas, Directora Agencia Estatal de Investigación, Ministerio de Economía y Competitividad

Fernando Beltrán Blázquez, Secretaría General Técnica del Departamento de Innovación, Investigación y Universidad, Gobierno de Aragón

Pilar Zaragoza Fernández, Vicerrectora de Transferencia e Innovación Tecnológica, Universidad de Zaragoza

### Comisión Ejecutiva

Ángela Fernández Curto, Subdirectora General Adjunta de Grandes Instalaciones Científico Tecnológicas, Ministerio de Economía y Competitividad

Francisco Herrada Martín, Jefe del Área de la Subdirección General Adjunta de Planificación de Infraestructuras Científicas y Tecnológicas, Ministerio de Economía y Competitividad

Fernando Beltrán Blázquez, Secretaría General Técnica del Departamento de Innovación, Investigación y Universidad, Gobierno de Aragón

Maite Gálvez Jaqués, Directora General Técnica del Departamento de Innovación, Investigación y Universidad, Gobierno de Aragón

Luis Miguel García Vinuesa, Vicerrector de Política Científica, Universidad de Zaragoza

Eduardo García Abancéns, Director del Área Política Científica del Vicerrectorado de Investigación, Desarrollo e Innovación, Universidad de Zaragoza

### COMITÉS ASESORES

#### Comité Científico Asesor Internacional

David Sinclair (Presidente) - Carleton University (Canada)

Frank T. Avignone - University of South Carolina (USA)

Antonio BuenoVillar- Universidad de Granada, Granada (Spain)

Cristiano Galbiati - Princeton University, New Jersey (USA)

Andrea Giuliani - CSNSM, Orsay Campus (France)

Berta Rubio Barroso - CSIC, Instituto de Física Crepuscular, Valencia (Spain)

Mark Chen - Queen's University, Ontario (Canada)

Eligio Lisi - INFN, Bari (Italy)

Paola Tropea - CERN, Geneva (Switzerland)



## AGRADECIMIENTOS

El LSC agradece al Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, el Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza su apoyo financiero sin el cual no podría perseguir su misión de investigación y divulgación. El LSC también quiere agradecer al Alcalde de Canfranc y al Centro de Control del Túnel de Somport su positiva colaboración.







# LSC

*Laboratorio Subterráneo de Canfranc*



Infraestructuras  
Científicas y Técnicas  
Singulares

