

Workshop on Particle Detectors for Interdisciplinary Applications

Monday 30 September 2024 - Wednesday 02 October 2024

Universidad de los Andes



2024

Workshop on Particle Detectors for
Interdisciplinary Applications.
September 30 – October 2.

Official Language: Spanish/English.
Idioma Oficial: Español/Inglés.

Libro de resúmenes

Contents

Interaction of Particles with Matter	1
Photon Counting Detectors and Applications	1
Advanced X-ray imaging: Spectral and Phase-contrast Techniques	1
Particle Reconstruction and Identification at the LHC	1
Hands On Computational Module: PCI PEPI GEANT4	1
Multi-contrast X-ray Microtomography in a Compact Laboratory System	2
In-line X-ray Phase Contrast Imaging and Applications	2
Muon Telescope: MUTE	2
Hands On Computational Module: Machine Learning	2
Compton Camera Based on Timepix3 for Nuclear Decommissioning	2
GEANT4 Simulations for Semiconductor-based Compton Camera	3
Angiography Studies with In-line XPCI	3
X-ray Detectors for Medical Imaging	3
An algorithmic approach to the early breast cancer classification problem: Contrasts with Machine Learning solutions	3
Cancer Radiation Therapy	3
UNIANDÉS HEP Lab - Research Activities	4
Speckle X-ray Phase Contrast Imaging and Applications	4
GEM Detectors and Applications	4
Construcción de Hodoscopio de Muones con Barras Centelladoras y SiPM	4
Diseño, construcción y calibración del telescopio de muones, MuTe 2.0	4
Cosmic Watch: detector portable de radiación cósmica	5
Estimación de la densidad interna en torres de hidrotatamiento mediante detectores de centelleo en la industria petroquímica.	6

Phase-retrieval Effect on Angiographic X-ray Imaging	7
Hodoscopio GEM con lectura SRS	8

Day #1 - Morning: Morning Lectures / 1

Interaction of Particles with Matter

Autor: Bernardo Gomez¹

¹ *Universidad de los Andes*

Corresponding Author: bgomez@uniandes.edu.co

Day #1 - Morning: Morning Lectures / 2

Photon Counting Detectors and Applications

Autor: Gerardo Roque¹

¹ *U. Freiburg*

Day #2 - Morning / 3

Advanced X-ray imaging: Spectral and Phase-contrast Techniques

Autor: Luca Brombal¹

¹ *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare INFN*

Day #1 - Afternoon: Afternoon Lectures / 4

Particle Reconstruction and Identification at the LHC

Autor: Carlos Andrés Florez Bustos¹

¹ *Universidad de los Andes*

Corresponding Author: ca.florez@uniandes.edu.co

Day #2 - Afternoon Module / 5

Hands On Computational Module: PCI PEPI GEANT4

Autores: Cristian Tibambre¹; Steven Cely¹

¹ *Universidad de los Andes*

Corresponding Author: c.tibambre@uniandes.edu.co

Link al repositorio GitHub:

<https://github.com/acsevillam/PEPI2>

Day #2 - Morning / 6

Multi-contrast X-ray Microtomography in a Compact Laboratory System

Autor: Carlos Navarrete¹

¹ *UCL*

Corresponding Author: carlos.leon.17@ucl.ac.uk

Day #2 - Morning / 7

In-line X-ray Phase Contrast Imaging and Applications

Autor: Steven Cely¹

¹ *Universidad de los Andes*

Day #2 - Afternoon / 8

Muon Telescope: MUTE

Autor: Luis Nuñez¹

¹ *Universidad Industrial de Santander*

Day #1 - Afternoon Module / 9

Hands On Computational Module: Machine Learning

Autores: Cristian Rodriguez¹; Gustavo Ardila¹

¹ *Universidad de los Andes*

Day #3 - Morning / 10

Compton Camera Based on Timepix3 for Nuclear Decommissioning

Autor: Sebastian Useche¹

¹ *U. Freiburg*

Day #3 - Morning / 11

GEANT4 Simulations for Semiconductor-based Compton Camera

Autor: Maria Laura Perez¹

¹ *UCL*

Day #3 - Morning / 12

Angiography Studies with In-line XPCI

Autor: Jesus Bermudez¹

¹ *Analista de Laboratorio*

Corresponding Author: jd.bermudezs@uniandes.edu.co

Day #3 - Morning / 13

X-ray Detectors for Medical Imaging

Autor: Victor Ramos¹

¹ *Hospital Universitario San Ignacio (HUSI)*

Day #3 - Afternoon / 15

An algorithmic approach to the early breast cancer classification problem: Contrasts with Machine Learning solutions

Autor: David Jurado Romero¹

¹ *Universidad de los andes*

Corresponding Author: gd.jurado10@uniandes.edu.co

Day #3 - Morning / 17

Cancer Radiation Therapy

Autor: Juliana Sandoval¹

¹ *Centro de Control de Cancer*

Day #1 - Morning: Morning Lectures / 19

UNIANDES HEP Lab - Research Activities

Autor: Carlos Avila¹

¹ *Universidad de los Andes*

Corresponding Author: cavila@uniandes.edu.co

Day #1 - Afternoon: Afternoon Lectures / 20

Speckle X-ray Phase Contrast Imaging and Applications

Autor: Cristian Tibambre¹

¹ *Universidad de los Andes*

Corresponding Author: c.tibambre@uniandes.edu.co

Day #2 - Afternoon / 21

GEM Detectors and Applications

Autor: Deywis Moreno¹

¹ *Universidad Antonio Nariño*

Day #3 - Afternoon / 25

Construcción de Hodoscopio de Muones con Barras Centelladoras y SiPM

Autor: Luisa Maria Sanchez Rhenals¹

¹ *Universidad de los Andes*

Day #3 - Afternoon / 28

Diseño, construcción y calibración del telescopio de muones, MuTe 2.0

Autor: Christian Sarmiento Cano¹

Co-autor: Luis Nuñez¹

¹ *Universidad Industrial de Santander*

Corresponding Author: christian.sarmiento@correo.uis.edu.co

El MuTe 2.0 (Muon Telescope, por sus siglas en inglés) es un telescopio de muones desarrollado para llevar a cabo estudios de muografía del volcán Cerro Machín, ubicado en el departamento del Tolima, Colombia. Este instrumento tiene como objetivo principal complementar las mediciones geofísicas tradicionales, proporcionando una visión detallada de la estructura interna del volcán. Al integrarse con otras técnicas geofísicas, el MuTe 2.0 contribuirá significativamente a una mejor comprensión del comportamiento del volcán y de los posibles riesgos que representa para las poblaciones cercanas.

Este telescopio consta de dos paneles centelladores paralelos, cada uno compuesto por una matriz de 15x15 barras centelladoras de 4 cm de ancho, creando una superficie de detección de 60 cm por lado. Para mejorar la precisión de las mediciones y minimizar el ruido electrónico, se ha implementado un blindaje de 3 cm de plomo en los paneles frontal y trasero, lo que reduce eficazmente la influencia de electrones indeseados en la señal.

El sistema de adquisición de datos está basado en una tarjeta FERS A5202 de CAEN Instruments, que se comunica con una PC mediante una conexión Ethernet. La energía del telescopio proviene de un sistema fotovoltaico diseñado para ofrecer una autonomía de hasta 4 días, utilizando paneles solares de 18V, baterías de 200 Ah, y un conjunto de protecciones contra sobrevoltajes y cortocircuitos, asegurando un funcionamiento confiable incluso en las condiciones ambientales exigentes del sitio.

Para garantizar un flujo de datos continuo y un análisis remoto eficaz, el telescopio está equipado con un sistema de comunicación robusto que envía los datos recopilados a la nube para su preprocesamiento. La red local establecida entre la tarjeta FERS A5202 y la PC está conectada a internet a través de un router Starlink, lo que permite la supervisión en tiempo real y el acceso remoto a los datos.

Este trabajo presenta el desarrollo, diseño y calibración de este instrumento, construido íntegramente en la Universidad Industrial de Santander, en Bucaramanga, Colombia.

Day #3 - Afternoon / 29

Cosmic Watch: detector portable de radiación cósmica

Autores: Diego Armando Castillo Morales¹; Christian Sarmiento Cano¹; Luis Nuñez¹

¹ *Universidad Industrial de Santander*

Corresponding Authors: christian.sarmiento@correo.uis.edu.co, dcastillomoraes@gmail.com

Cosmic Watch: detector portable de radiación cósmica
D. Castillo-Morales¹, C. Sarmiento-Cano², L. Nuñez²

Los detectores de partículas suelen ser costosos, difíciles de adquirir y, a menudo, están vinculados a software propietario, lo que limita su flexibilidad e integración con otros sistemas. Además, muchos de estos dispositivos requieren conectores especializados que no son fácilmente accesibles en el mercado, complicando su implementación. En contraste, el Cosmic Watch es un detector de rayos cósmicos diseñado con componentes comerciales y de fácil acceso. Además, emplea software libre para la gestión de datos y su funcionamiento, lo que facilita su adaptabilidad en diversas aplicaciones.

El CosmicWatch[1] es un detector de muones de escritorio compacto y portátil, compuesto por una placa de centellador plástico de 4×4×1 cm³ acoplada a un fotomultiplicador de silicio (SiPM). La señal del SiPM es procesada por un microcontrolador Raspberry Pi Pico, permitiendo la medición de eventos en tiempo real. El dispositivo cuenta con un botón de reinicio, indicadores LED para eventos y coincidencias, y una pantalla OLED para mostrar la información. Además, es posible conectar varios detectores mediante un cable Ethernet estándar para realizar mediciones de coincidencia. Con

un consumo de apenas 0,4 W y alimentación mediante USB, el dispositivo es ligero, con un peso aproximado de 200 g, lo que lo hace altamente portátil.

Este proyecto presenta un detector completamente ensamblado en Colombia, acompañado de un manual detallado que guía al usuario desde la construcción inicial hasta su uso completo. El manual incluye imágenes de los componentes, información sobre su adquisición y una guía paso a paso para la instalación y puesta en marcha, minimizando posibles errores. Este dispositivo se presenta como una herramienta versátil y de gran utilidad para prácticas de laboratorio en la detección de rayos cósmicos, muografía y espectrometría, así como para la detección de partículas en coincidencias utilizando múltiples dispositivos interconectados. Su diseño y funcionalidad lo convierten en una opción ideal para demostraciones universitarias o aplicaciones científicas.

[1] Axani, S.N. (2019). The physics behind The CosmicWatch Desktop Muon Detectors. arXiv: Instrumentation and Detectors.

Day #3 - Afternoon / 30

Estimación de la densidad interna en torres de hidrotatamiento mediante detectores de centelleo en la industria petroquímica.

Autor: Rafael Armando Martínez Rivero¹

Co-autores: Christian Sarmiento Cano¹; Luis Nuñez¹

¹ *Universidad Industrial de Santander*

Corresponding Author: rafael2248058@correo.uis.edu.co

En la industria moderna, especialmente en instalaciones de gran escala como las torres de hidrotatamiento, es fundamental estudiar las estructuras internas y su evolución temporal. Las técnicas convencionales, como la espectroscopía de Raman, Gamma y la absorción de rayos X [1][2][3], presentan limitaciones logísticas y riesgos radiológicos. El uso de radiación ionizante implica un riesgo potencial para los trabajadores y requiere estrictos protocolos de seguridad, lo que dificulta su aplicación para monitoreos continuos o en tiempo real, además de incrementar la complejidad operativa. A diferencia de estas técnicas, que requieren una fuente radiactiva, en la radiación cósmica de fondo tenemos una fuente pasiva y continua de muones. Los muones, partículas altamente penetrantes, pueden proporcionar información detallada sobre estructuras densas y de gran tamaño, como volcanes o represas. La tasa de atenuación de los muones está directamente relacionada con la densidad del material que atraviesan, lo que convierte a la muografía en una herramienta prometedora para detectar variaciones de densidad en el interior de torres de hidrotatamiento en la industria petroquímica.

Este estudio propone la evaluación de la muografía como una técnica alternativa para identificar variaciones de densidad en torres de hidrotatamiento. Se simuló la radiación cósmica de fondo para Bucaramanga utilizando ARTI [4], que considera las condiciones geográficas, atmosféricas y geomagnéticas locales. En Geant4 se modeló el detector, compuesto por dos paneles de centelladores acoplados a una fibra óptica y un SiPM (fotomultiplicador de silicio). Se diseñó un blindaje de plomo para la componente electromagnética de la radiación cósmica y se simuló la atenuación del flujo de electrones monocromáticos con espesores de 0.5 a 3 cm y energías de hasta 6 GeV. El modelado de la torre incluyó una envolvente de acero para el lecho de catalizador, una capa de calorifugado con aire para aislamiento térmico, y una envolvente de aluminio que añade protección y estabilidad estructural. Dentro de la torre modelamos el lecho con diésel, 75% parafina y 25% benceno, junto catalizadores de NiMo/Al₂O₃. Se evaluaron distribuciones homogéneas de densidad en la cámara de catálisis, así como una interfase de dos densidades. Posteriormente, se simuló la propagación de las partículas secundarias a través de la torre y la respuesta del detector.

Los resultados obtenidos permitieron determinar el flujo de la radiación cósmica de fondo en Bucaramanga. Además se determinó que es posible lograr una atenuación completa con 2 cm de blindaje frente a electrones de hasta 6 GeV. Además, se reconstruyó el muograma de la respuesta del detector

ante el flujo de muones que atraviesa la torre de hidrotreatmento, detectando contrastes de densidad de hasta un 20%. Estos hallazgos muestran la factibilidad de realizar un diagnóstico temprano para optimizar la eficiencia operativa en plantas de hidrotreatmento.

- [1] Tranter, R., Kastengren, A., Porterfield, J., Randazzo, J., Lockhart, J., Baraban, J., & Ellison, G. (2017). Measuring flow profiles in heated miniature reactors with X-ray fluorescence spectroscopy. *J. Proc. Inst. Mech. Engrs.*, 36, 4603-4610. <https://doi.org/10.1016/J.PROCI.2016.06.104>.
- [2] Hampel, U., Hristov, H., Bieberle, A., & Zippe, C. (2007). Application of high-resolution gamma ray tomography to the measurement of gas hold-up distributions in a stirred chemical reactor. *Flow Measurement and Instrumentation*, 18, 184-190. <https://doi.org/10.1016/J.FLOWMEASINST.2007.06.001>.
- [3] Ferreño, D., Mañanes, A., Rábago, D., Casado, J., González, J. A., Gómez, S., Carrascal, I., Ruiz, E., Diego, S., Gómez, F., & Sarachaga, E. (2018). Mechanical behavior and microstructural changes in polyurethane exposed to high doses of X rays, gamma rays or neutron irradiation. *Polymer Testing*, 67, 359-369. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMERTESTING.2018.03.033>
- [4] Sarmiento-Cano, C., Suárez-Durán, M., Calderón-Ardila, R. et al. The ARTI framework: cosmic rays atmospheric background simulations. *Eur. Phys. J. C* 82, 1019 (2022). <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-022-10883-z>

Day #3 - Afternoon / 31

Phase-retrieval Effect on Angiographic X-ray Imaging

Autor: Simon Gonzalez¹

¹ Universidad de los Andes

Corresponding Author: s.gonzalez38@uniandes.edu.co

Phase-retrieval Effect on Angiographic X-ray Imaging

Author: Simón González

Abstract:

In this thesis, a comparison between propagation-based and speckle-based phase contrast imaging methods for angiography was conducted through both computational and experimental studies. The computational research involved simulations developed in Geant4 and the PEPI package using angiographic phantoms composed of a PMMA cylinder, blood, and an atherosclerotic plaque constructed from a mixture of PMMA and Calcium Hydroxyapatite. Additionally, a polychromatic source with a tungsten anode and a silicon photon-counting detector were simulated. On the experimental side, the study was conducted in the High Energy Laboratory at Universidad de los Andes using a phantom with the same characteristics, as well as one built from a pig artery. We also employed a Hamamatsu L6622-01 tungsten anode X-ray tube and a Medipix3RXV1 silicon sensor detector.

The primary objective of the project was to quantify the effect of phase retrieval on the quality of angiographic images. For this, the Paganin algorithm (for propagation-based images) and MIST (for speckle-based images) were applied to both computationally and experimentally obtained images. Finally, we calculated the CNR (Contrast-to-Noise Ratio) and the absorbed dose by the phantom to evaluate which method provides better image quality in terms of absorbed dose.

The results showed that, as implemented, the phase retrieval algorithms indicate that the propagation-based technique provides better quality in terms of dose compared to the speckle-based technique for angiographic images. It was demonstrated that a phase image retrieved by MIST shows approximately 12% higher dose than one retrieved by the Paganin algorithm. Since the doses are relatively similar, the main difference between the methods is the CNR calculated on the atherosclerotic plaque. The main weakness of speckle-based images is the presence of significant statistical fluctuations due to the sandpaper used, which attenuates approximately 44% of the incident radiation, negatively affecting the standard deviation of the region of interest and drastically reducing the CNR. This implies that the image quality is considerably lower in terms of absorbed dose.

For future work, we propose more precise measurements of the incident and absorbed radiation by the phantom at an experimental level, using technologies such as Timepix and the NOMEX detector. Additionally, as our results are highly dependent on the phase retrieval algorithms used, we suggest employing other algorithms, such as Beltrán (propagation-based) and UMPA or XSVT (speckle-based). Lastly, we propose replicating the study using effective energies close to 35 keV

with the use of filters on the X-ray tube, aiming to enhance the phase effects of the incident waves on the blood within the phantom, thus achieving higher image quality.

Day #3 - Afternoon / 32

Hodoscopio GEM con lectura SRS

Autores: Brayan Garcia¹; Carlos Avila¹

¹ *Universidad de los Andes*

Corresponding Author: b.garcia@uniandes.edu.co

La muografía es una técnica avanzada que emplea muones cósmicos para generar imágenes bidimensionales o tridimensionales de volúmenes a escanear. Esta técnica se basa en la dispersión de los muones y en la energía que pierden al interactuar con diferentes materiales, permitiendo obtener información detallada sobre la estructura interna de un volumen. Este proyecto se desarrolló en dos ámbitos principales: la simulación y el experimento. En el ámbito de la simulación, se desarrolló un código en Python que permite la generación de muones cósmicos mediante la parametrización de modelos teóricos. Este código, denominado UniMuon, facilita la configuración de varios parámetros a través de un archivo de configuración, permitiendo ejecutar simulaciones precisas del flujo de muones atmosféricos a una altitud específica. Las simulaciones se realizaron en el servidor de Altas Energías de la Universidad de los Andes, obteniendo distribuciones de momento, ángulo cenital y azimutal que concuerdan con las expectativas teóricas, validando así la eficacia del código. En el ámbito experimental, se realizaron diversos experimentos utilizando detectores GEM (Gas Electrón Multiplier) y el sistema de adquisición de datos SRS (Scalable Readout System) desarrollado por la colaboración RD51, para verificar su funcionamiento óptimo. Se estudió el comportamiento del sistema en la visualización de imágenes de rayos X de muestras biológicas, demostrando la capacidad del detector GEM para obtener imágenes claras y detalladas utilizando fuentes de radiación. Además, se llevó a cabo un experimento con una configuración de dos GEMs conectados a dos tubos fotomultiplicadores (PMT) y al sistema SRS, logrando reconstruir las trazas de muones atmosféricos y obteniendo las distribuciones esperadas de ángulos cenitales y azimutales, entre otros parámetros. Además, se identificó que el sistema es capaz de tener una eficiencia hasta de un 63 % de la detección de muones en ambos detectores GEMs con respecto a los muones detectados por los PMT. Sin embargo, se realizarán varios experimentos para optimizar el sistema y aumentar aún más la eficiencia de detección, ajustando los parámetros de ganancia en los GEMs, disminuyendo el umbral, entre otras. Estas pruebas demostrarán que este sistema es capaz de llegar aún más altas eficiencias en la detección de muones. Este proyecto sienta una base sólida para futuras investigaciones, incluyendo la posibilidad de realizar una muografía de transmisión en Monserrate. Esto implicaría la recolección de datos del flujo de muones en un entorno al aire libre, comparándolos con las simulaciones generadas por el código UniMuon. Además, con la implementación de detectores adicionales, se podrían explorar técnicas de muografía por absorción y dispersión, lo cual ampliaría las aplicaciones de esta tecnología en la exploración de materiales con alto número atómico y otras investigaciones científicas.