

Estudio del envejecimiento de Fibras Ópticas Poliméricas utilizadas en el detector FV0 para el Run 3 y Run 4 del Experimento ALICE del LHC.

Laura Helena González Trueba
Tutor Principal: Dr. Varlen Grabski

Instituto de Física
UNAM

27 de agosto de 2025

Contenido

1 Introducción

- Large Hadron Collider (LHC)
- A Large Ion Collider Experiment (ALICE)
- Antecedentes
- FV0
- Planteamiento del problema

2 Fibras Ópticas Poliméricas (POF)

3 Envejecimiento Acelerado

4 Metodología

5 Resultados

- Pérdida Relativa de Transmitancia
- FTIR
- Difracción de Rayos X
- Pruebas Mecánicas
- Análisis Termogravimétrico TGA

6 Conclusiones

Contenido

1 Introducción

- Large Hadron Collider (LHC)
- A Large Ion Collider Experiment (ALICE)
- Antecedentes
- FV0
- Planteamiento del problema

2 Fibras Ópticas Poliméricas (POF)

3 Envejecimiento Acelerado

4 Metodología

5 Resultados

- Pérdida Relativa de Transmitancia
- FTIR
- Difracción de Rayos X
- Pruebas Mecánicas
- Análisis Termogravimétrico TGA

6 Conclusiones

Introducción -LHC-

LHC



Large Hadron Collider:

- Sincrotrón Colisionador
- 27 km de circunferencia
- 1232 dipolos de 35 toneladas c/uno
- 9300 superconductores
- -271°C temperatura interior

Introducción -LHC-

LHC



Large Hadron Collider:

- Sincrotrón Colisionador
- 27 km de circunferencia
- 1232 dipolos de 35 toneladas c/uno
- 9300 superconductores
- -271°C temperatura interior

Introducción -LHC-

LHC



Large Hadron Collider:

- Sincrotrón Colisionador
- 27 km de circunferencia
- 1232 dipolos de 35 toneladas c/uno
- 9300 superconductores
- -271°C temperatura interior

Introducción -LHC-

LHC



Large Hadron Collider:

- Sincrotrón Colisionador
- 27 km de circunferencia
- 1232 dipolos de 35 toneladas c/uno
- 9300 superconductores
- -271°C temperatura interior

Introducción -LHC-

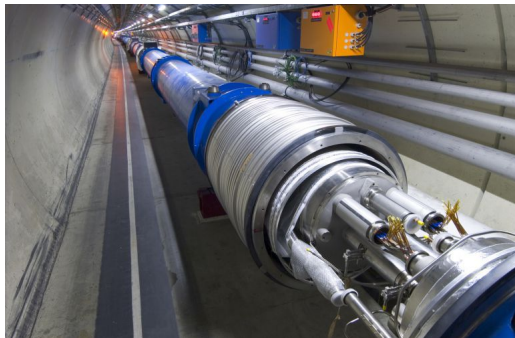
LHC



Large Hadron Collider:

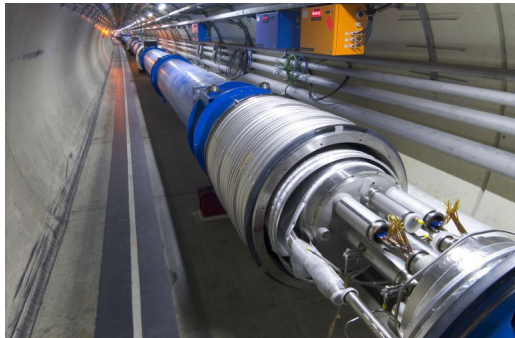
- Sincrotrón Colisionador
- 27 km de circunferencia
- 1232 dipolos de 35 toneladas c/uno
- 9300 superconductores
- -271°C temperatura interior

Introducción LHC



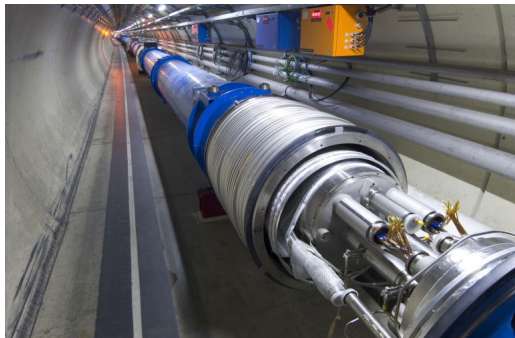
- Colisiones p-p 14 TeV
- Colisiones Pb-Pb 5.5 TeV/A
- Estudio de la composición y origen del Universo

Introducción LHC



- Colisiones p-p 14 TeV
- Colisiones Pb-Pb 5.5 TeV/A
- Estudio de la composición y origen del Universo

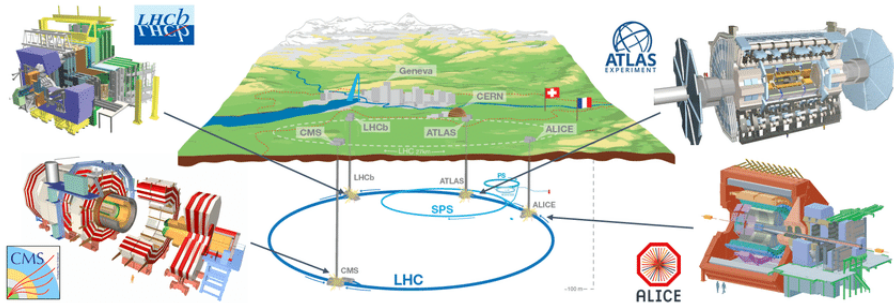
Introducción LHC



- Colisiones p-p 14 TeV
- Colisiones Pb-Pb 5.5 TeV/A
- Estudio de la composición y origen del Universo

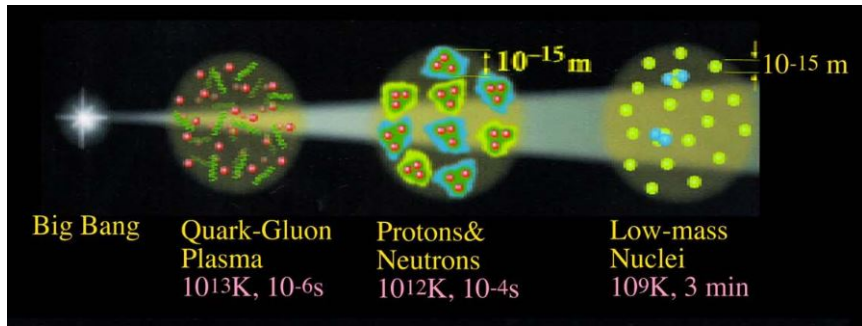
Introducción LHC

ATLAS, CMS, ALICE, LHC-b

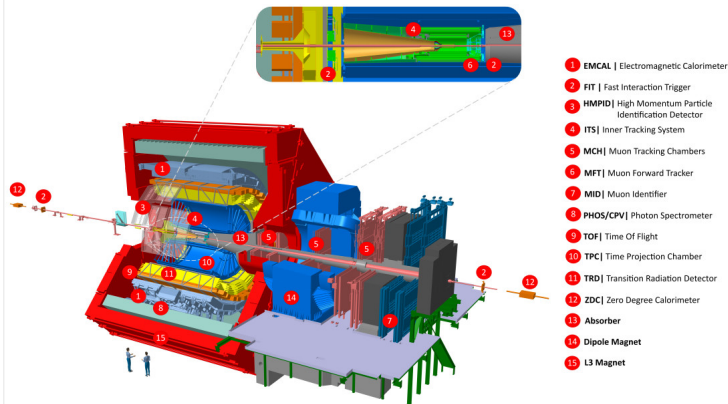


Introducción ALICE

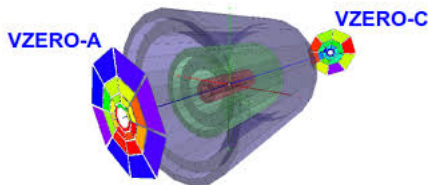
Materia Cromodinámica



ALICE 2 requiere cumplir requisitos para las nuevas capacidades que ofrece el LHC

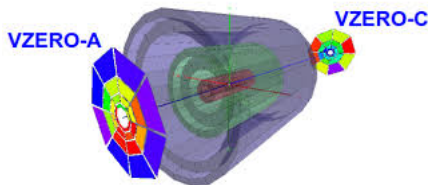


Mejora del detector V0 para ALICE 2.



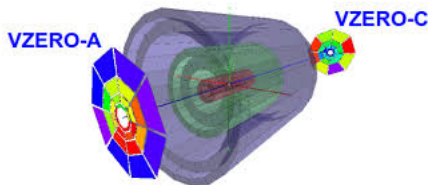
- Disparo para los detectores centrales en colisiones pp, PbPb, pPb, seleccionando eventos de haz-haz y haz-gas residual.
- Medición de la multiplicidad.
- Identificación del Parámetro de evento.
- Medición de la luminosidad del evento.

Mejora del detector V0 para ALICE 2.



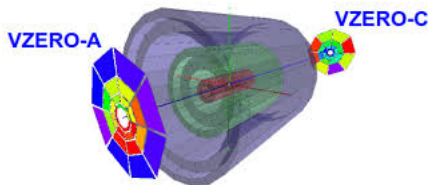
- Disparo para los detectores centrales en colisiones pp, PbPb, pPb, seleccionando eventos de haz-haz y haz-gas residual.
- Medición de la multiplicidad.
- Identificación del Parámetro de evento.
- Medición de la luminosidad del evento.

Mejora del detector V0 para ALICE 2.



- Disparo para los detectores centrales en colisiones pp, PbPb, pPb, seleccionando eventos de haz-haz y haz-gas residual.
- Medición de la multiplicidad.
- Identificación del Parámetro de evento.
- Medición de la luminosidad del evento.

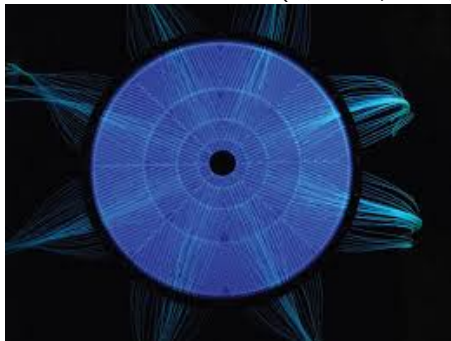
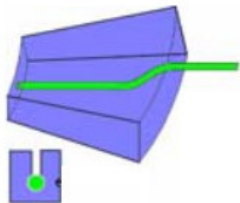
Mejora del detector V0 para ALICE 2.



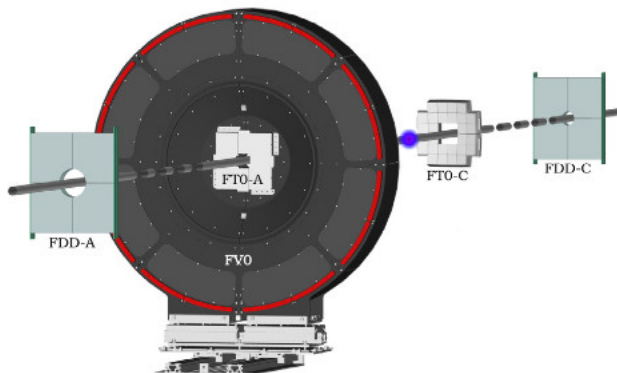
- Disparo para los detectores centrales en colisiones pp, PbPb, pPb, seleccionando eventos de haz-haz y haz-gas residual.
- Medición de la multiplicidad.
- Identificación del Parámetro de evento.
- Medición de la luminosidad del evento.

Introducción Antecedentes

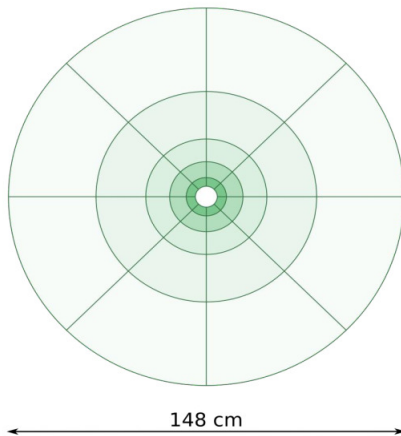
Primer detector V0 para el experimento ALICE. ($2,8 < \eta < 5,1$)



Fast Interaction Trigger System (FIT)

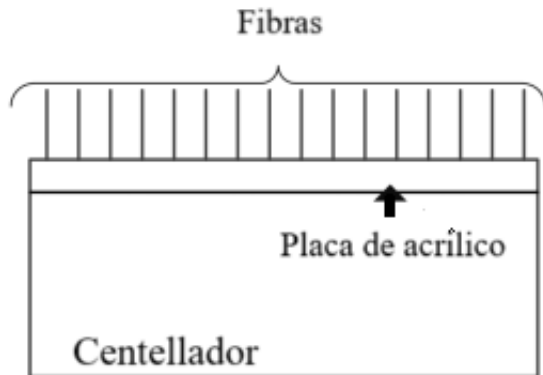


Diseño del detector FV0



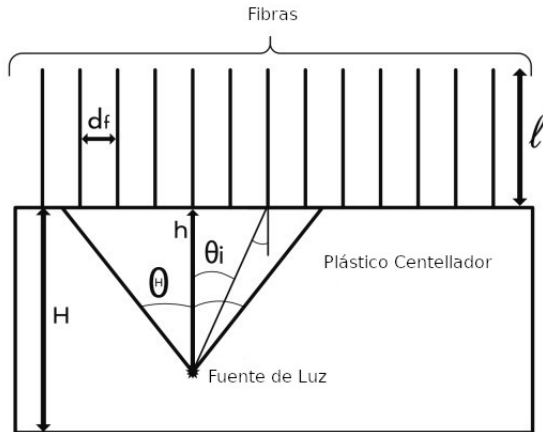
Introducción FV0

Diseño del detector FV0



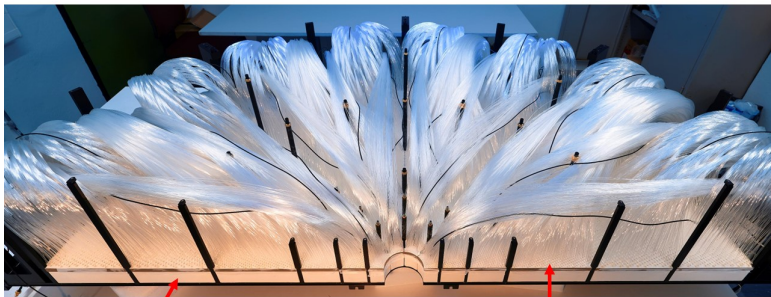
Introducción FV0

Diseño del detector FV0



Introducción FV0

Diseño del detector FV0



Plástico Centellador
de 4 cm de grosor

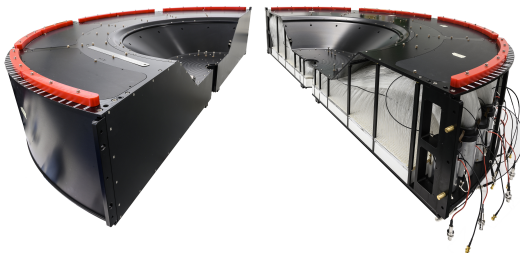
Placa de acrílico con la
matriz de fibras ópticas

Introducción FV0



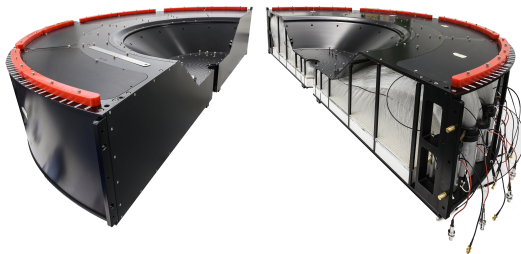
FV0

Introducción FV0



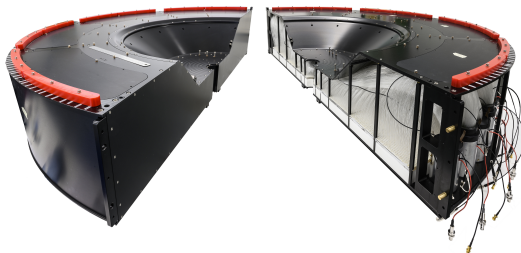
- Identifica eventos por gases residuales.
- Mejora la eficiencia en la detección de eventos de minimum bias.
- Estima la centralidad del evento debido a su granularidad y rango de pseudorapidez ($2,2 < \eta < 5,1$).
- Con ello se identifica el plano del evento.

Introducción FV0



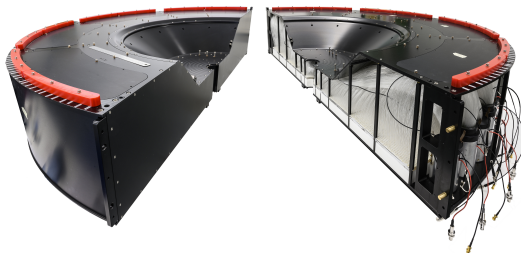
- Identifica eventos por gases residuales.
- Mejora la eficiencia en la detección de eventos de minimum bias.
- Estima la centralidad del evento debido a su granularidad y rango de pseudorapidez ($2,2 < \eta < 5,1$).
- Con ello se identifica el plano del evento.

Introducción FV0



- Identifica eventos por gases residuales.
- Mejora la eficiencia en la detección de eventos de minimum bias.
- Estima la centralidad del evento debido a su granularidad y rango de pseudorapidez ($2,2 < \eta < 5,1$).
- Con ello se identifica el plano del evento.

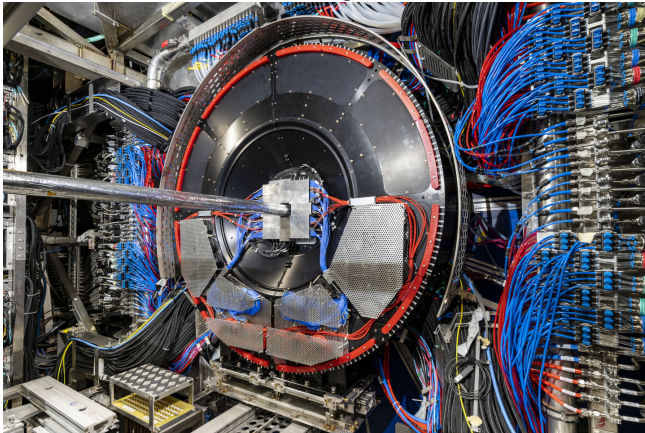
Introducción FV0



- Identifica eventos por gases residuales.
- Mejora la eficiencia en la detección de eventos de minimum bias.
- Estima la centralidad del evento debido a su granularidad y rango de pseudorapidez ($2,2 < \eta < 5,1$).
- Con ello se identifica el plano del evento.

Introducción -FV0-

FV0



Planteamiento del problema



Contenido

1 Introducción

- Large Hadron Collider (LHC)
- A Large Ion Collider Experiment (ALICE)
- Antecedentes
- FV0
- Planteamiento del problema

2 Fibras Ópticas Poliméricas (POF)

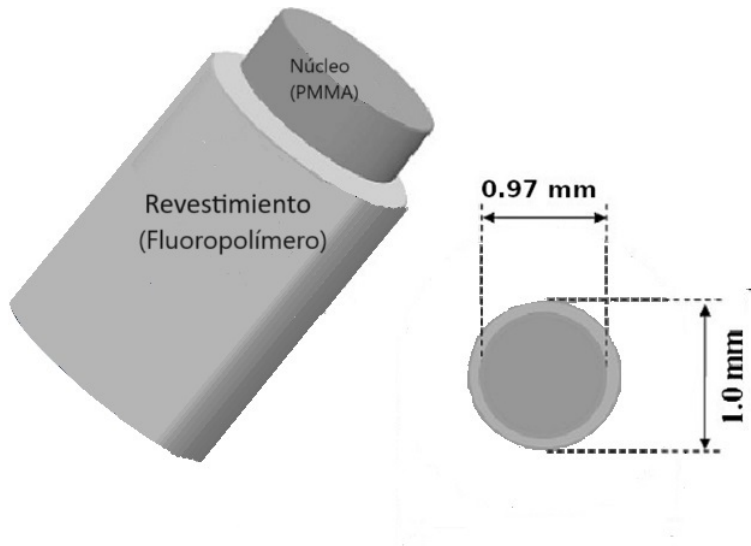
3 Envejecimiento Acelerado

4 Metodología

5 Resultados

- Pérdida Relativa de Transmitancia
- FTIR
- Difracción de Rayos X
- Pruebas Mecánicas
- Análisis Termogravimétrico TGA

6 Conclusiones

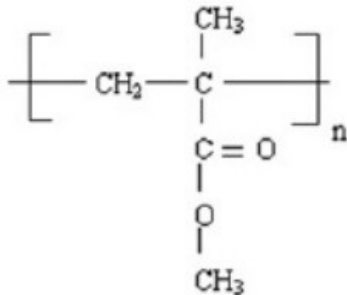


Fibras ópticas poliméricas marca ASAHI modelo SB-1000

Artículo	Unidad	Especificaciones
Material del Núcleo		PMMA
Material del revestimiento		Polímero Fluorado
Índice de Refracción del Núcleo		1.49
Perfil de Índice de Reflectividad		Índice Escalonado
Diámetro del Núcleo	μm	970 ± 60
Diámetro de la fibra	μm	1000 ± 60
NA		0.6
Peso aproximado	g/m	1.0

Polimetilmetacrilato PMMA

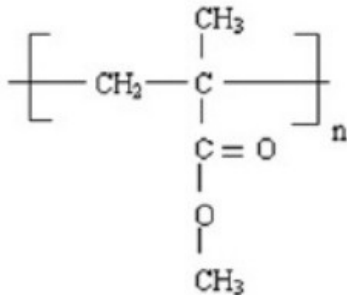
Estructura Química del PMMA



- Transparente
- Termoplástico
- $100 < T_g < 130 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Temperatura de fusión $130 \text{ } ^\circ\text{C}$

Polimetilmetacrilato PMMA

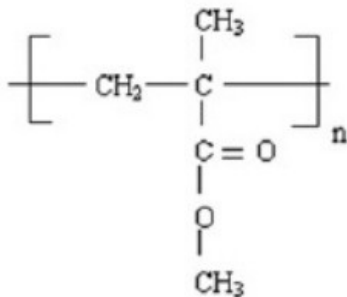
Estructura Química del PMMA



- Transparente
- Termoplástico
- $100 < T_g < 130 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Temperatura de fusión $130 \text{ } ^\circ\text{C}$

Polimetilmetacrilato PMMA

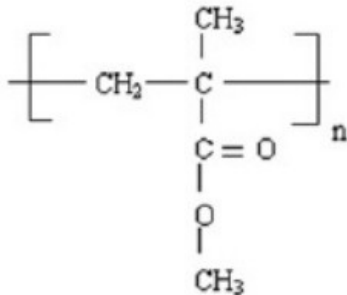
Estructura Química del PMMA



- Transparente
- Termoplástico
- $100 < T_g < 130 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Temperatura de fusión $130 \text{ } ^\circ\text{C}$

Polimetilmetacrilato PMMA

Estructura Química del PMMA



- Transparente
- Termoplástico
- $100 < T_g < 130 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Temperatura de fusión $130 \text{ } ^\circ\text{C}$

Fluoropolímeros

Características	Unidades	PTFE	FEP	PVF	PVDF	ETFE
Punto de Fusión	°C	317-337	260-282	190-200	155-192	254-279
Módulo de Tracción	MPa	550	345	2000	1040-2070	827
Enlongación en la Ruptura	%	300-550	290-300	90-250	50-250	150-300
Temperatura de uso	°C	260	200	110	150	150

- Resistencia Ambiental
- Transmisión de Luz
- Resistencia al Calor
- Baja adhesión

Fluoropolímeros

Características	Unidades	PTFE	FEP	PVF	PVDF	ETFE
Punto de Fusión	°C	317-337	260-282	190-200	155-192	254-279
Módulo de Tracción	MPa	550	345	2000	1040-2070	827
Enlongación en la Ruptura	%	300-550	290-300	90-250	50-250	150-300
Temperatura de uso	°C	260	200	110	150	150

- Resistencia Ambiental
- Transmisión de Luz
- Resistencia al Calor
- Baja adhesión

Fluoropolímeros

Características	Unidades	PTFE	FEP	PVF	PVDF	ETFE
Punto de Fusión	°C	317-337	260-282	190-200	155-192	254-279
Módulo de Tracción	MPa	550	345	2000	1040-2070	827
Enlongación en la Ruptura	%	300-550	290-300	90-250	50-250	150-300
Temperatura de uso	°C	260	200	110	150	150

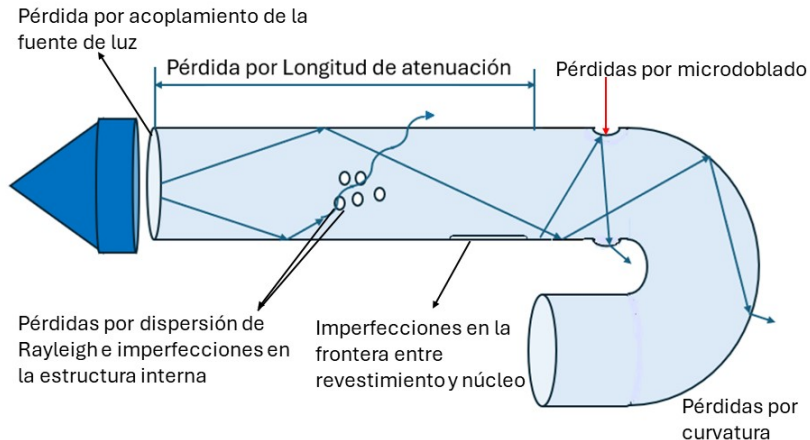
- Resistencia Ambiental
- Transmisión de Luz
- Resistencia al Calor
- Baja adhesión

Fluoropolímeros

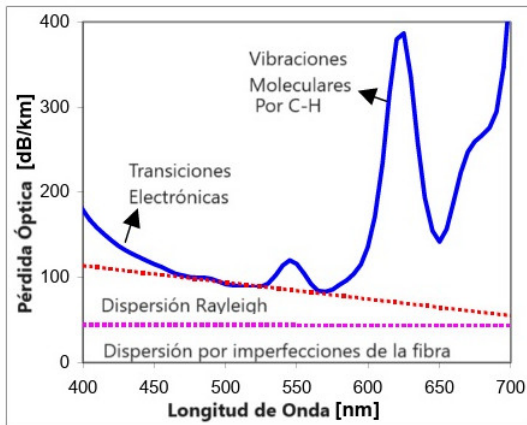
Características	Unidades	PTFE	FEP	PVF	PVDF	ETFE
Punto de Fusión	°C	317-337	260-282	190-200	155-192	254-279
Módulo de Tracción	MPa	550	345	2000	1040-2070	827
Enlongación en la Ruptura	%	300-550	290-300	90-250	50-250	150-300
Temperatura de uso	°C	260	200	110	150	150

- Resistencia Ambiental
- Transmisión de Luz
- Resistencia al Calor
- Baja adhesión

Atenuación



Atenuación



Contenido

1 Introducción

- Large Hadron Collider (LHC)
- A Large Ion Collider Experiment (ALICE)
- Antecedentes
- FV0
- Planteamiento del problema

2 Fibras Ópticas Poliméricas (POF)

3 Envejecimiento Acelerado

4 Metodología

5 Resultados

- Pérdida Relativa de Transmitancia
- FTIR
- Difracción de Rayos X
- Pruebas Mecánicas
- Análisis Termogravimétrico TGA

6 Conclusiones

Envejecimiento

Envejecimiento Termo-oxidativo

Ecuación de Arrhenius

$$K(T) = A \exp \frac{-E_a}{kT} \quad (1)$$

Factor de Aceleración

$$\gamma = \frac{K(T_2)}{K(T_1)} = \exp \frac{E_a}{K} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (2)$$

Tiempo de estimación de envejecimiento acelerado.

$$t_{T_2} = \frac{t_{T_1}}{\gamma} \quad (3)$$

Tiempo de exposición dentro del horno.

Temperatura °C	γ	Tiempo de exposición (horas)
70	36.58	2401
80	69.52	1264
90	127.53	689
100	226.47	388

$$E_a = 0.67 \text{ eV}$$

Envejecimiento

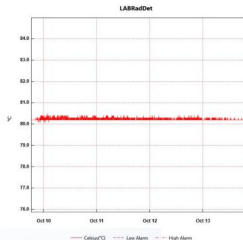
. Horno



Datalogger



Estabilidad del Horno



From: jueves, 9 de octubre de 2023 06:23:53 p. m. - To: viernes, 13 de octubre de 2023 07:39:56 p. m.

Contenido

1 Introducción

- Large Hadron Collider (LHC)
- A Large Ion Collider Experiment (ALICE)
- Antecedentes
- FV0
- Planteamiento del problema

2 Fibras Ópticas Poliméricas (POF)

3 Envejecimiento Acelerado

4 Metodología

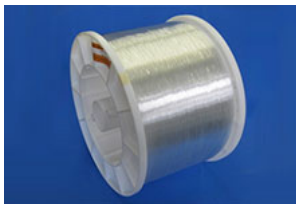
5 Resultados

- Pérdida Relativa de Transmitancia
- FTIR
- Difracción de Rayos X
- Pruebas Mecánicas
- Análisis Termogravimétrico TGA

6 Conclusiones

Preparación de Muestras

Preparación de muestras para la medición de transmitancia.



Lijas



Hojas de Pulido



Disco de Pulido

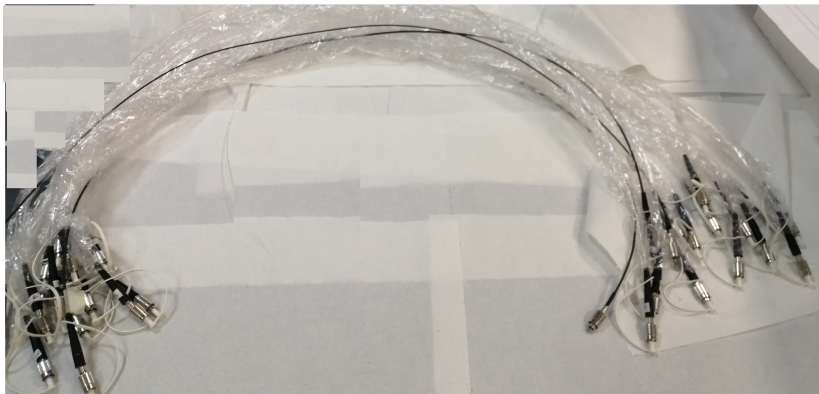


Técnica de pulido

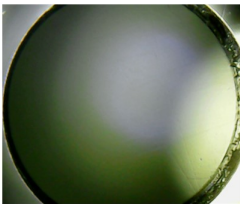
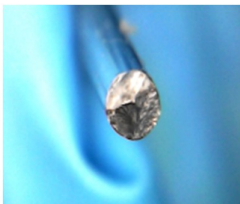
Base para pulido



Fibras de 1 metro de longitud con conectores

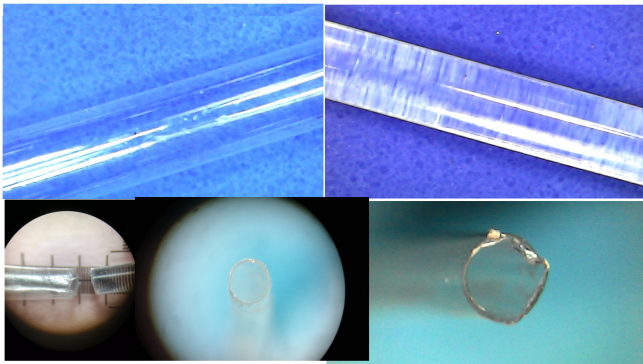


Fibras pulidas



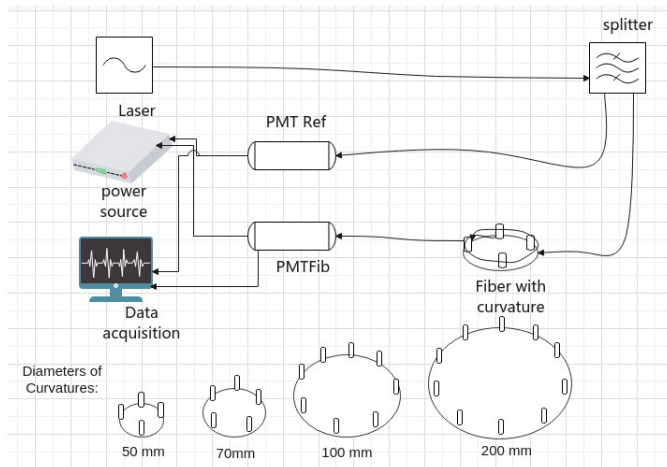
Preparación de Muestras

Preparación de muestras para pruebas complementarias



Arreglo Experimental

Arreglo experimental para la medición de la transmitancia



Contenido

1 Introducción

- Large Hadron Collider (LHC)
- A Large Ion Collider Experiment (ALICE)
- Antecedentes
- FV0
- Planteamiento del problema

2 Fibras Ópticas Poliméricas (POF)

3 Envejecimiento Acelerado

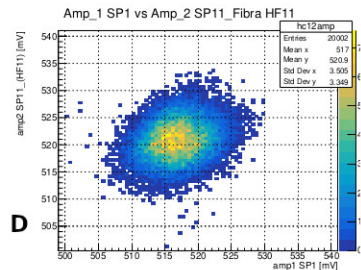
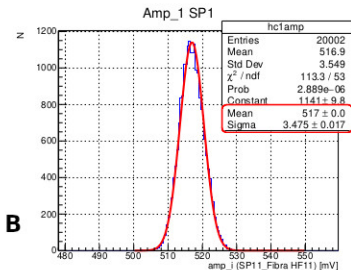
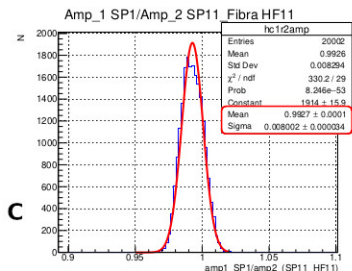
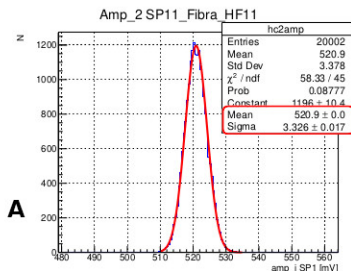
4 Metodología

5 Resultados

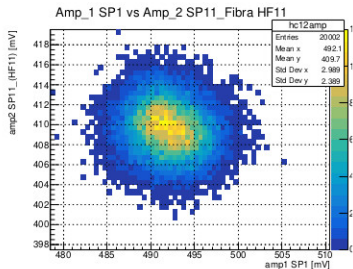
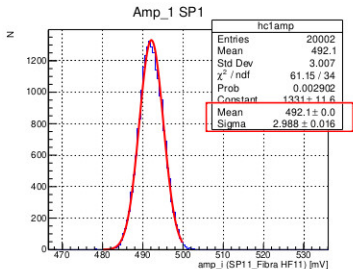
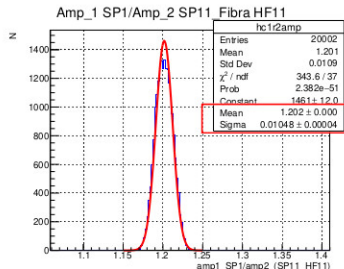
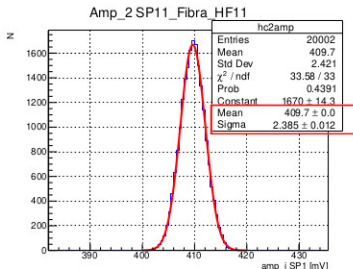
- Pérdida Relativa de Transmitancia
- FTIR
- Difracción de Rayos X
- Pruebas Mecánicas
- Análisis Termogravimétrico TGA

6 Conclusiones

Fibra HF11 sin envejecer

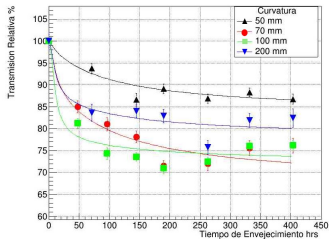


Fibra HF11 632 hrs envejecimiento

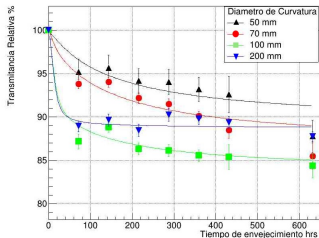


Resultados

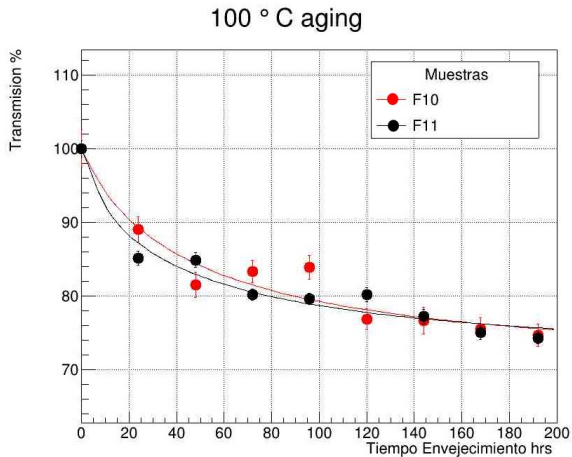
Primer Juego



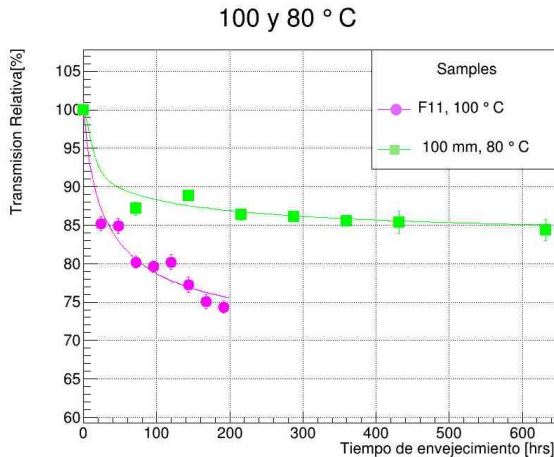
Tercer Juego



Resultados



Resultados

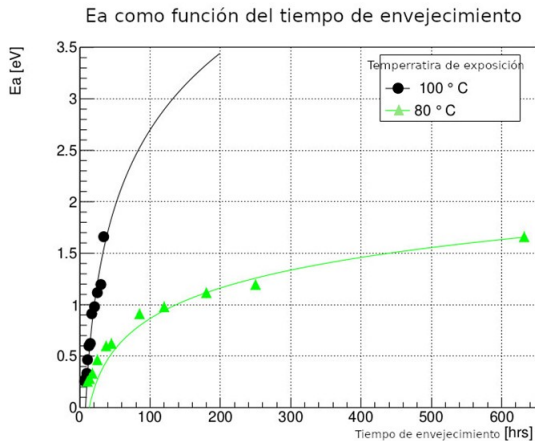


$$\gamma = \frac{t_{T_{80}}}{t_{T_{100}}} \quad (4)$$

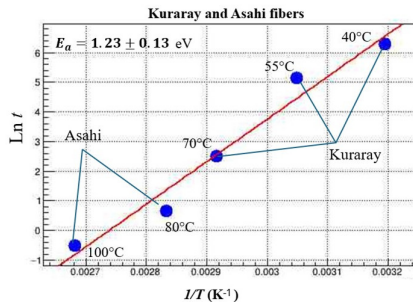
$$\gamma = \frac{K(T_2)}{K(T_1)} = \exp^{\frac{E_a}{k}(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2})} \quad (5)$$

$$E_a = \ln(\gamma) k_B \left(\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \right) \quad (6)$$

Resultados



Resultados

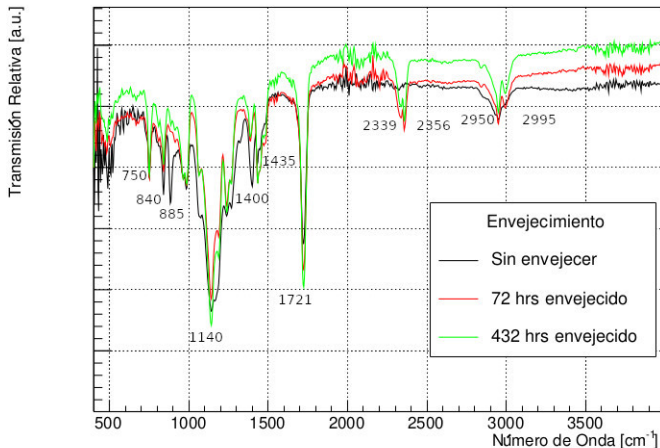


$$\ln(t) = \frac{E_a}{k_B} * \frac{1}{T} + C \quad (7)$$

Resultados FTIR

Espectroscopía en el Infrarrojo por Transformada de Fourier

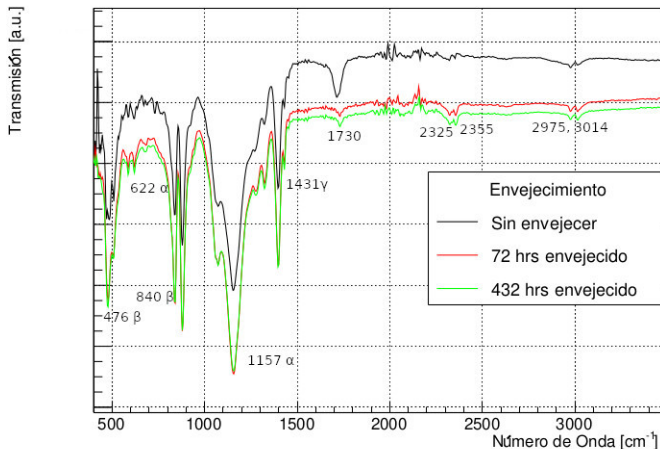
FTIR para Núcleo



Resultados FTIR

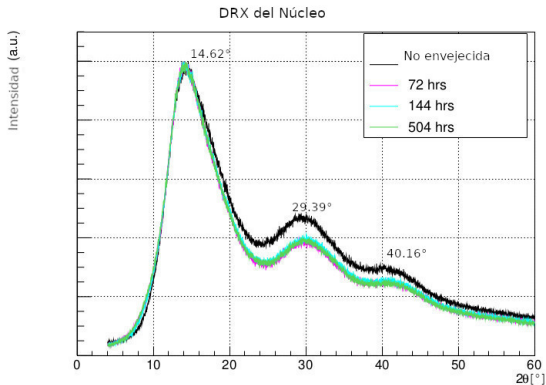
Recubrimiento coincide 67 % con el Polivinilideno Fluorado PVDF

FTIR para recubrimiento



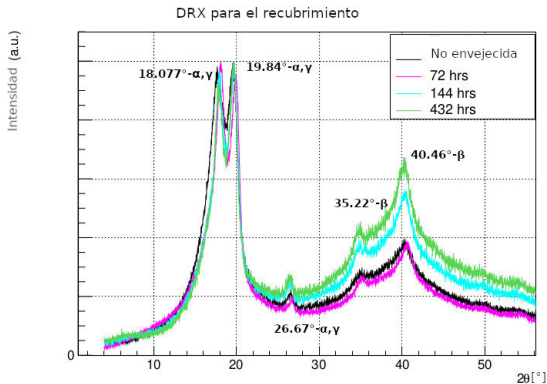
Difracción de Rayos X

Tamaño de Cristal $D_1 = 23,68\%$



Resultados

Difracción de Rayos X

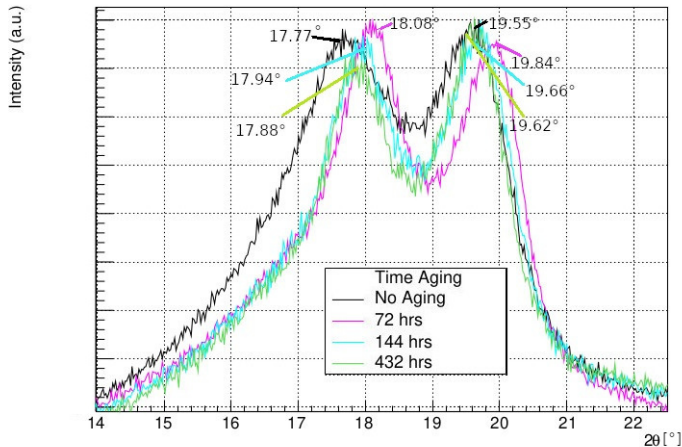


Resultados

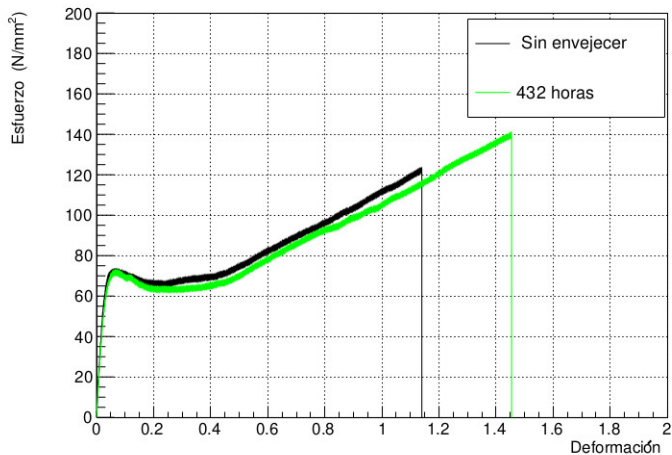
Difracción de Rayos X

Tamaño de Cristal $D_1 = 46,88\%$ y $D_2 = 31,72\%$

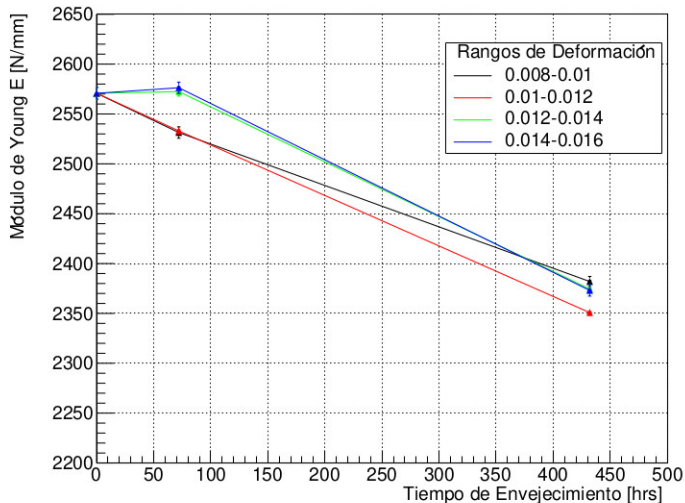
XRD for Cladding



Curva Esfuerzo-Deformación

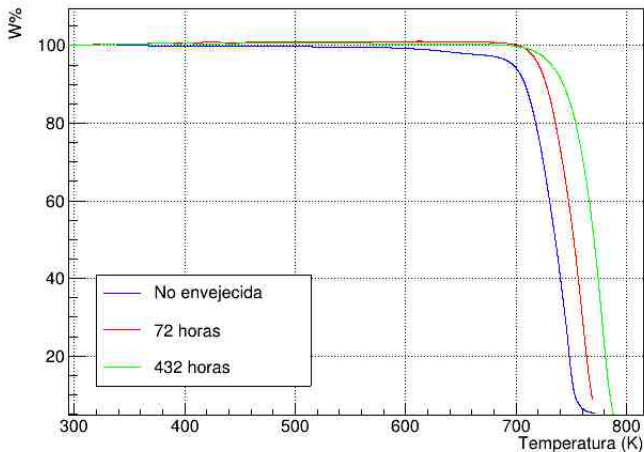


Módulo de Young



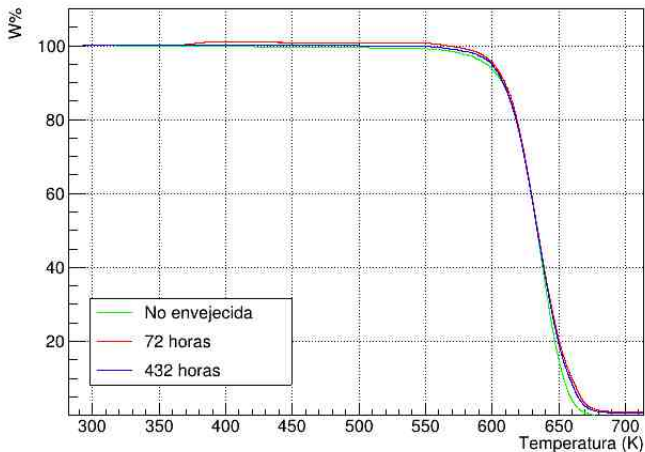
Análisis Termogravimétrico TGA

Recubrimiento



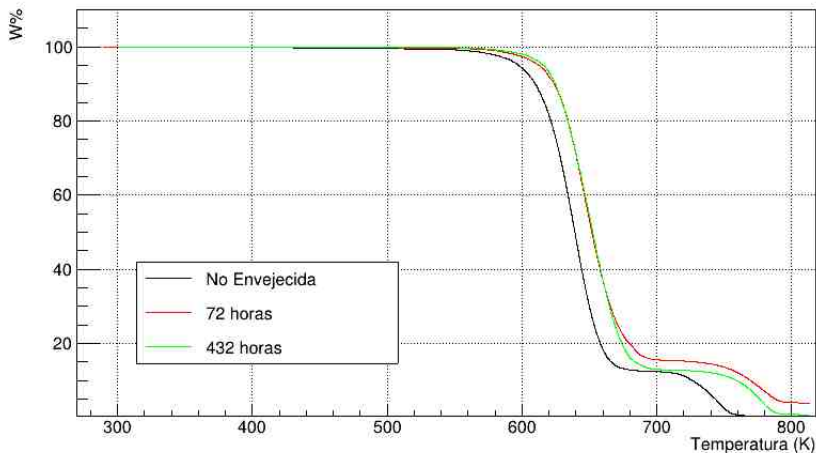
Análisis Termogravimétrico TGA

Nucleo

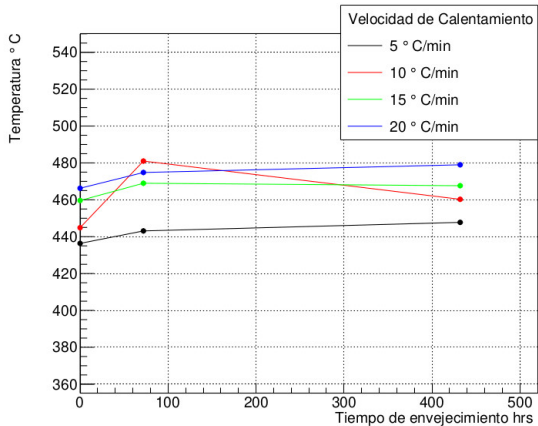


Análisis Termogravimétrico TGA

Fibra



Análisis Termogravimétrico TGA



Contenido

1 Introducción

- Large Hadron Collider (LHC)
- A Large Ion Collider Experiment (ALICE)
- Antecedentes
- FV0
- Planteamiento del problema

2 Fibras Ópticas Poliméricas (POF)

3 Envejecimiento Acelerado

4 Metodología

5 Resultados

- Pérdida Relativa de Transmitancia
- FTIR
- Difracción de Rayos X
- Pruebas Mecánicas
- Análisis Termogravimétrico TGA

6 Conclusiones

Conclusiones

- Existe una pérdida de transmisión relativa máxima de 15 % durante 632 horas para las fibras envejecidas a 80°C lo cual equivale a 5 años según el modelo de Arrhenius y para las muestras a 100°C hay una pérdida máxima del 25 % en 196 hora que equivale a 5 años, con $E_a = 0,67$ eV.
- Se calculó E_a con respecto al tiempo de envejecimiento resultando un rango de [0.255-1.66]eV correspondiente a un rango de T % de [95-85] %.
- Utilizando una pérdida de 15 % en 632 horas para 10 años $E_a = 0,87$ eV a 80°C así como para 100°C E_a es de 0.97 eV. Se necesitan más pruebas para que este resultado sea concluyente.
- Este estudio puede ayudar a saber que la pérdida máxima de transmitancia con el uso de fibras ópticas poliméricas puede ser de hasta un 15 % para los primeros 10 años en el peor de los escenarios.

Conclusiones

- Con respecto a la curvatura, es necesario realizar más pruebas para curvaturas pequeñas y verificar que efectivamente existe recuperación de calor en las microfisuras superficiales.
- Con FTIR se demuestra que el revestimiento puede estar hecho de PVDF ya que su espectro coincide en un 67 % con el de este material.
- Se observó un cambio en el tamaño del cristal en el PVDF de 46.88 % y 31.72 % en las primeras reflexiones respectivamente. Para el núcleo el tamaño del cristal del 23.68 % para la primera reflexión.
- Existe una disminución en el Módulo de Young del 9.5 %, esto indica mayor tenacidad a la ruptura en el material.
- El TGA demuestra que el revestimiento tiene mayor estabilidad térmica por lo que es indicativo que el material se está cristalizando.

¡GRACIAS!