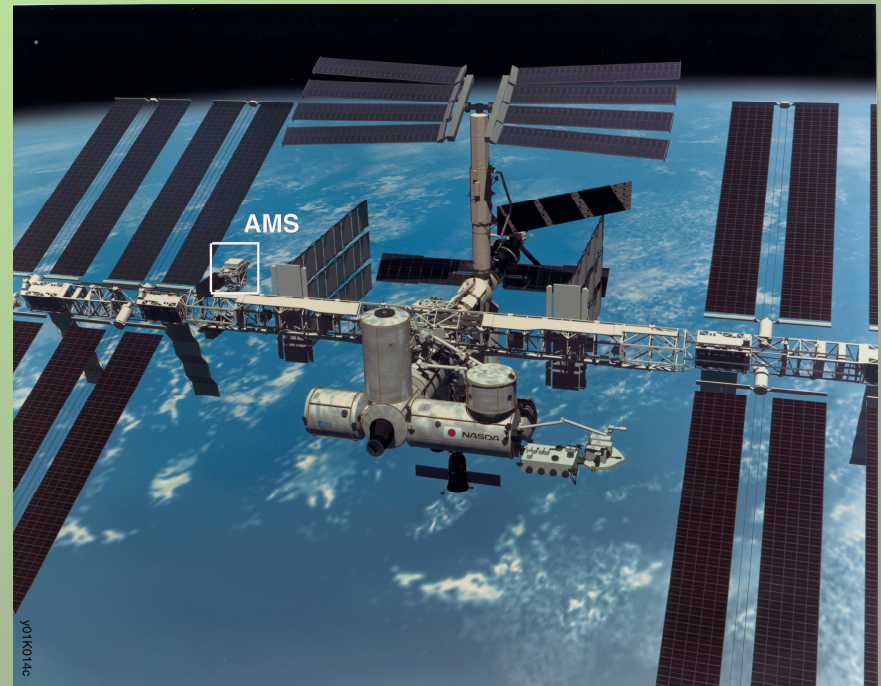


CARACTERIZACIÓN ÓPTICA DEL AEROGEL DE SILICIO COMO RADIADOR DEL RICH DE AMS-02

**Ana Sofía Torrentó Coello
Astrofísica De Partículas -CIEMAT**

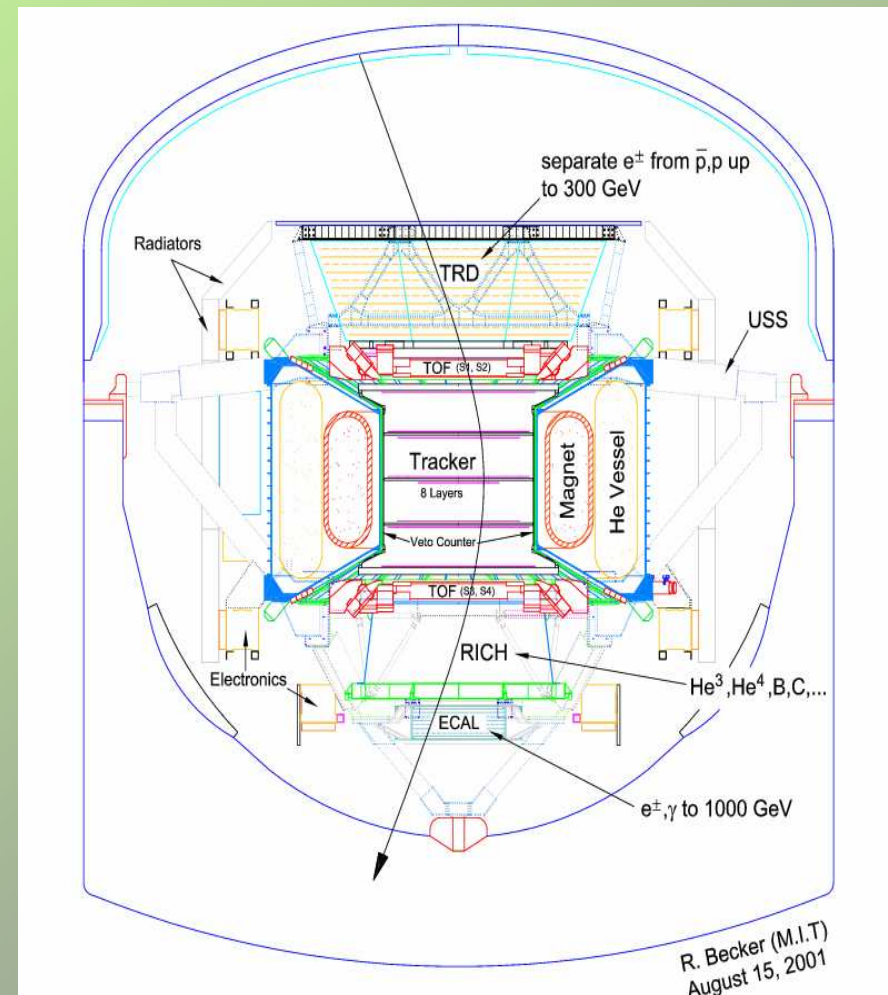
EL EXPERIMENTO AMS

- Detector de partículas que se instalará en la ISS (2007) y operará durante al menos 3 años
- Objetivos científicos
 - ① Composición rayos cósmicos primarios
 - ① Antimateria
 - ① Materia oscura
- Colaboración internacional (más de 30 institutos de investigación)



EL DETECTOR AMS-02

- Imán superconductor
- Detector de trazas de silicio (STD)
- Contador de tiempo de vuelo (TOF)
- Detector de radiación transición (TRD)
- Detector de radiación Cerenkov (RICH)
- Calorímetro EM (ECAL)



EL RICH DE AMS-02

- Separación isotópica de núcleos ligeros

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta p}{p} \oplus \gamma^2 \frac{\Delta \beta}{\beta}$$

requiere alta resolución en la velocidad
(TOF $\Delta\beta/\beta \sim 3\%$, separación hasta 1 GeV/n)

- Basado en el efecto Čerenkov

$$\cos \theta_c = \frac{1}{\beta n(\lambda)} \quad \frac{dN}{dE} = \alpha Z^2 L \sin^2 \theta_c$$

RICH $\Delta\beta/\beta \sim 0.1 \%$ para $Z = 1$, $\beta=1$
separación hasta 10 GeV/n

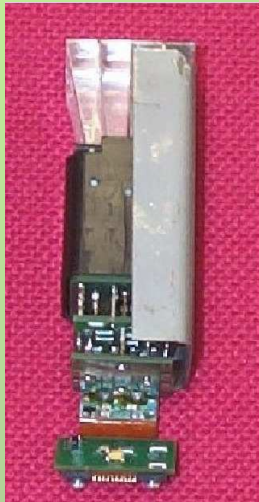
ELEMENTOS DEL RICH

- Radiador

- ① Aerogel de silicio: $n=1.05$, $\beta_{\min}=0.95$

- ① NaF: $n=1.33$, $\beta_{\min}=0.75$

- Reflector cónico



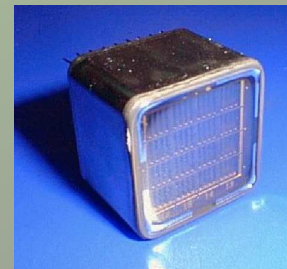
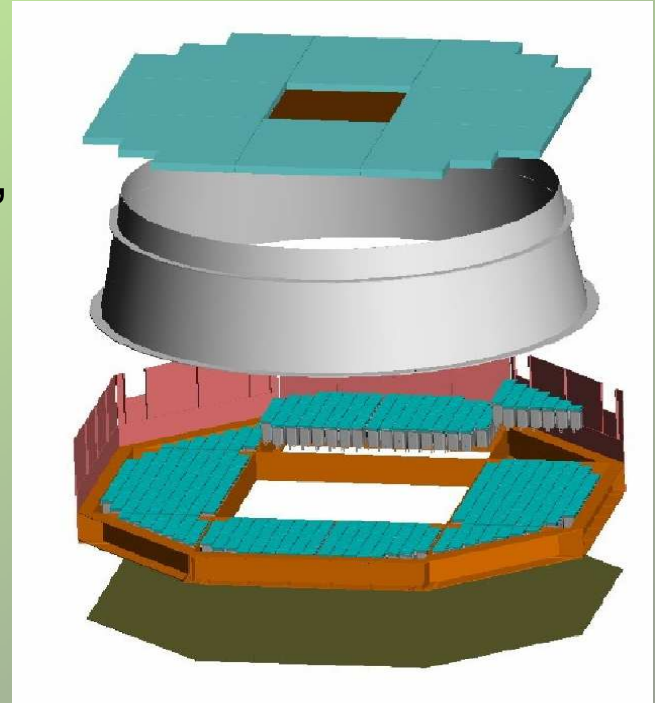
- Plano detección

- ① Fotomultiplicadores

- ① Guías de luz

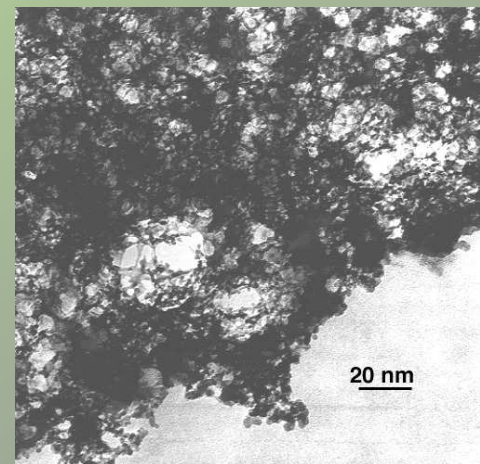
- ① Apantallamiento

- ① magnético



AEROGEL DE SILICIO

- Material artificial, conocido como “humo sólido”
- Red 3D de granos de silicio amorfo (diámetro~2-5 nm)
- Red abierta de poros ~20 nm
- 85%-99% de aire en volumen
- Fabricado por primera vez en 1931 por Steven Kistler
- Redescubierto en los '70: almacenamiento de oxígeno y combustible en misiles.
- Principios '80: utilización en detectores Čerenkov (DESY, CERN)



PROPIEDADES

- $\rho_{\text{aerogel}} \approx \rho_{\text{aire}}$
- Baja conductividad térmica
- Absorción de energía cinética
- Absorción de gases



- Transparente y con bajo índice de refracción

$$n=1+A\rho$$

$$A \sim 0.2-0.3$$

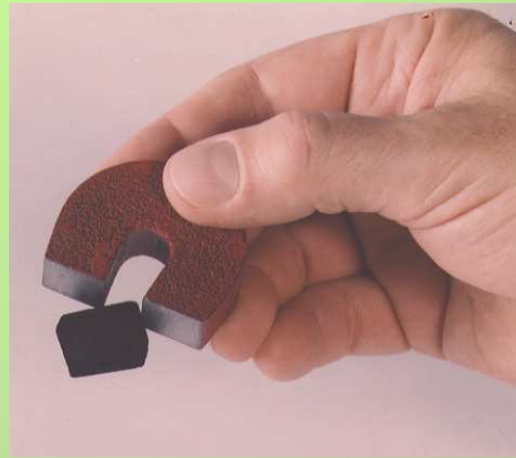
$$\rho=0.003-0.35 \text{ g/cm}^3$$

$$n=1.007-1.08$$

APLICACIONES



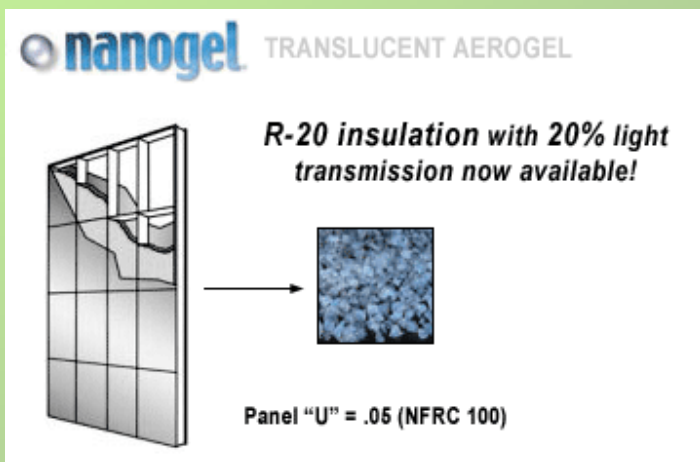
- Captura de partículas (NASA STARDUST)



- Aerogel magnético (sensores magneto-ópticos)



- Aerogel fotoluminiscente (detectores de O_2)



- Aislante térmico:
 - ① ventanas
 - ① misiones espaciales (Mars Pathfinder rover)

- Industria farmacéutica
- Filtros de aire
- Catálisis
- Aditivo (cosméticos, comida...)
- Mucho más ...

Aerogel como radiador del RICH

- Bajo índice de refracción: aumenta la aceptación en velocidad
- Baja densidad: minimiza la masa total del detector
- Sólido: no requiere mantenimiento
- Dos fabricantes:
 - ① Matsushita Electric Works Ltd. (Japón) [MEW]
 - ① Instituto de Catálisis Boreskov (Novosibirsk, Rusia) [BIC]

Propiedades ópticas

- Determinantes en el funcionamiento del RICH
 - ① Medida de β : conocer el valor de n con gran precisión
 - ① Medida de Z , eficiencia de selección: depende del número de fotones producidos $\rightarrow n$ y L (grosor)
- Propagación por el aerogel: absorción, reflexión y, sobre todo, dispersión Rayleigh (estructura interna inhomogénea), que los apartan los fotones del cono Čerenkov



- Caracterización óptica – el aerogel satisface los requerimientos del RICH?
 - ① Medir $n \Rightarrow$ Grenoble
 - ① Absorción, dispersión Rayleigh $\Rightarrow$ CIEMAT

Caracterización óptica



$\lambda = 635 \text{ nm}$



$\lambda = 355 \text{ nm}$

- Medida de la transmitancia en función de λ y ajuste con la función teórica (Ley de Hunt):

$$T(\lambda) = A \exp(-CL / \lambda^4)$$

A = fracción máxima de luz transmitida (=1-absorción)

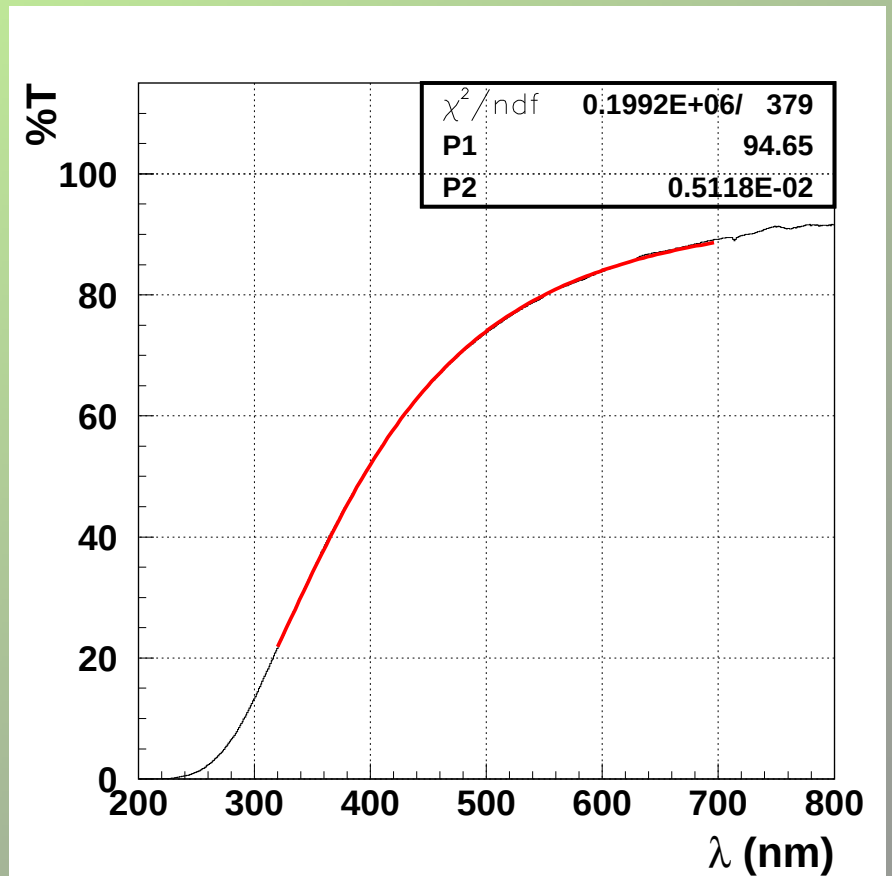
C (claridad) = estimación de la dispersión Rayleigh

- Los aerogeles más transparentes tienen valores de A altos y de C bajos.

Transmitancia y uniformidad I



- Espectrofotómetro CARY WIN UV
- Rango 200-800 nm
- Paso 1 nm



- Ajuste en 320-700 nm

Transmitancia y uniformidad II

Material	n	Dim (mm ³)	$A \pm \Delta A$ (%)	$C \pm \Delta C$ (μ ⁴ cm ⁻¹)
MEW	1.03	115×115×11	99.04 ± 0.23	0.00382 ± 0.00004
BIC		85×85×30	94.78 ± 0.27	0.00509 ± 0.00003
BIC	1.05	55×55×25	96.95 ± 0.38	0.00524 ± 0.00005

- Satisfacen los requerimientos: $A \uparrow, C \downarrow$
- Además, las losetas son uniformes:

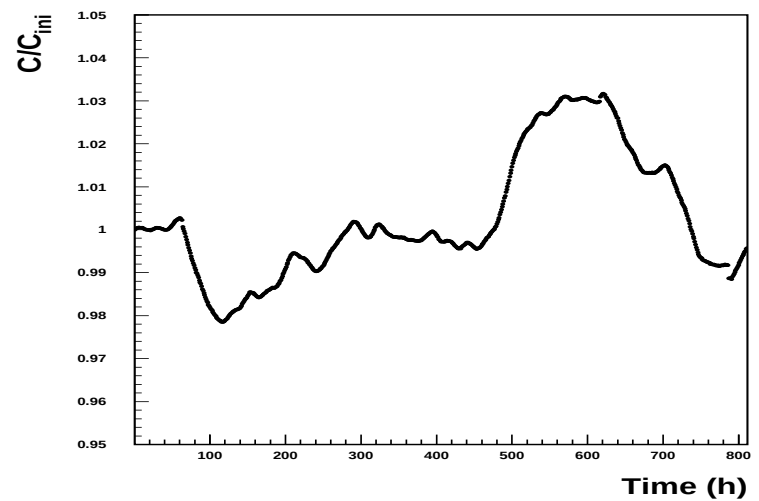
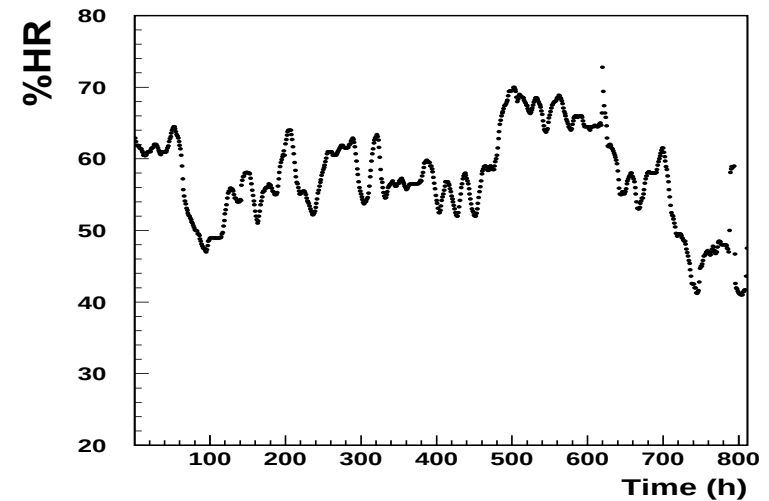
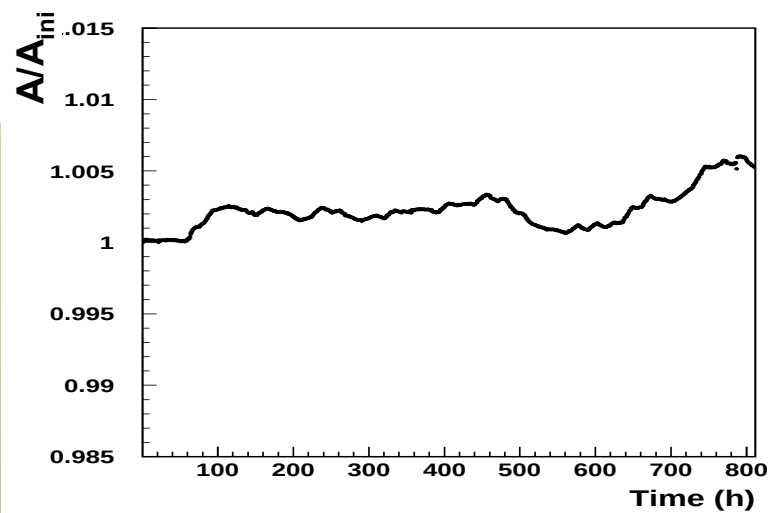
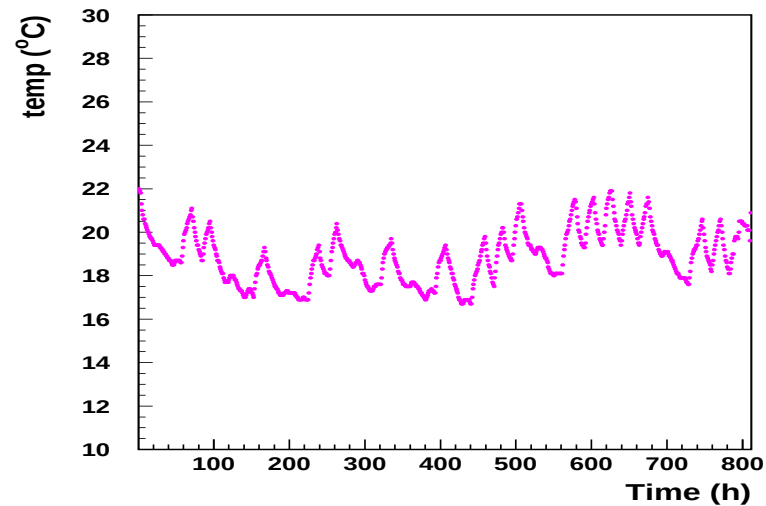
$$\Delta A/A < 0.5\% \quad \Delta C/C < 1\%$$

Envejecimiento en condiciones ambientales I

- Comprobar que durante el almacenamiento las propiedades del aerogel no cambian
- Muestra de BIC (hidrófilo) sujeta a variaciones de temperatura y humedad ambientales
- 34 días monitorizando $T(\lambda)$, temperatura y humedad

Envejecimiento en condiciones ambientales

II



Envejecimiento en condiciones ambientales

III

- Temperatura estable: 16°C – 22°C
- Grandes variaciones de humedad: 45-70 %HR
- Cambios en A y C: $\Delta A < 1\%$, $\Delta C \pm 4\%$ pequeños
 $\Rightarrow$ inducen una pérdida fotones $< 2\%$
- Correlación %HR $\uparrow$ - $\Delta A \downarrow$, $\Delta C \uparrow$ (empeora)
- Pequeña histéresis $< 2\%$ en C $\Rightarrow$ envejecimiento



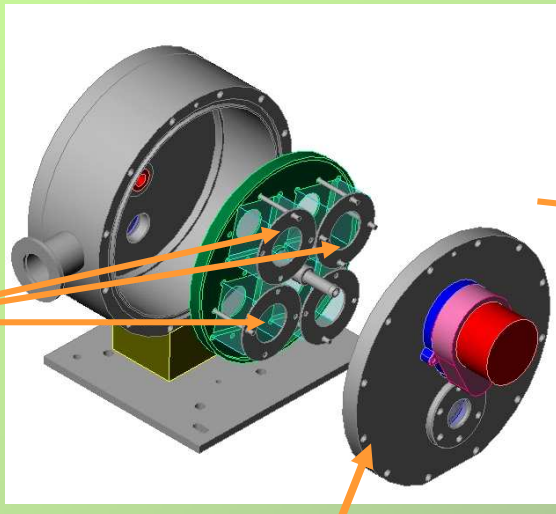
- Almacenar el aerogel protegido de las variaciones de temperatura y %HR ambientales

Envejecimiento en vacío I

- Averiguar si las propiedades ópticas del aerogel cambiarán durante los 3 años de operación sin mantenimiento en la ISS
- Medida de $T(\lambda)$ durante 6 meses en vacío
- Muestras: MEW 1.03, BIC 1.03, BIC 1.05

Envejecimiento en vacío II

Muestras



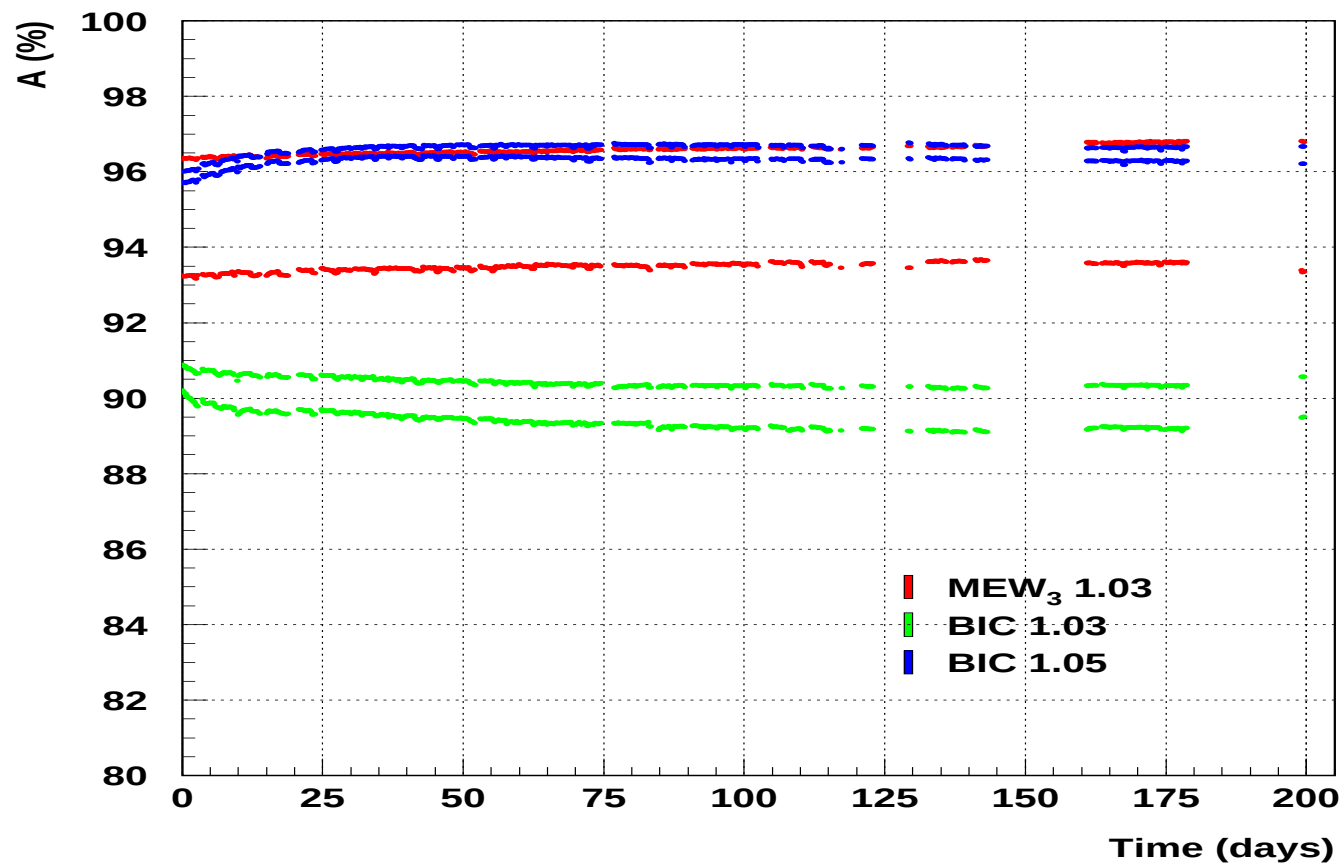
Rotor: 1 vuelta (6000 pasos)
cada 4 horas

- En cada vuelta:
 - ① Medida del baseline (sin muestra)
 - ① Medidas en 2 zonas de cada muestra
 - ① Medidas de monitoring para localizar la posición en caso de parada

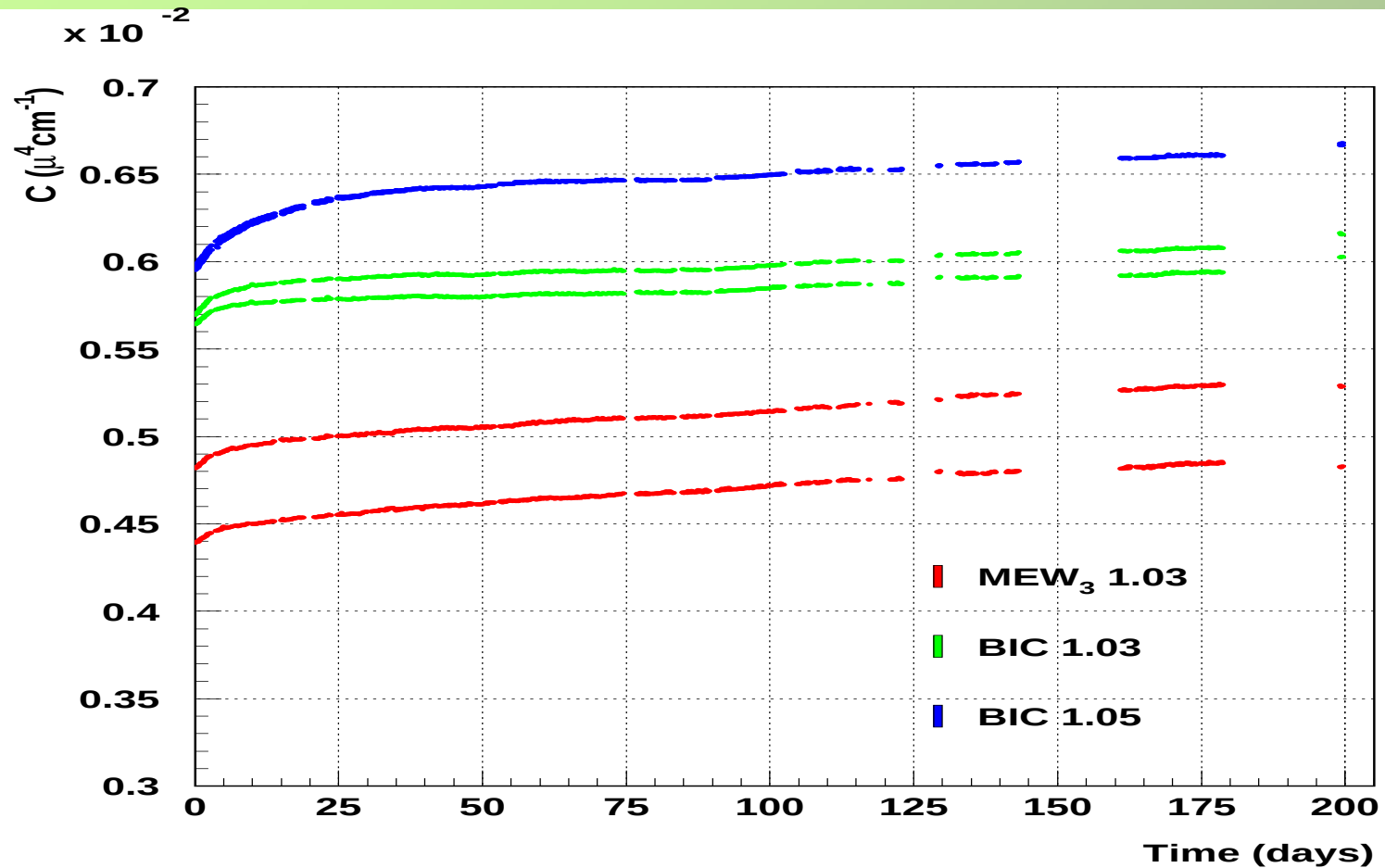


Bomba de vacío: $P=1.2 \times 10^{-6}$ mbar

Envejecimiento en vacío III



Envejecimiento en vacío IV



Envejecimiento en vacío V

Material	ΔA /año	ΔC /año	ΔFot /año
MEW 1.03	0.17%	14%	3%
BIC 1.03	-0.27%	7.5%	2.5%
BIC 1.05	-0.24%	8%	3%

- Pendiente de las curvas y extrapolación a 1 año
- La variación de A es prácticamente nula
- La variación de C es mayor pero resulta en una pérdida de fotones pequeña

Conclusiones

- Se ha realizado una caracterización óptica de varias muestras de aerogel, comprobando que todas satisfacen los requerimientos de detección del RICH de AMS.
- La degradación en condiciones de almacenamiento es mínima y fácilmente subsanable
- La degradación en vuelo (vacío) no afecta significativamente el buen funcionamiento del RICH (pérdida de fotones $< 3\%$)