

Patrones y medidas de magnitudes Radiométricas y Fotométricas en el IO- CSIC. Situación actual y previsiones de desarrollo.

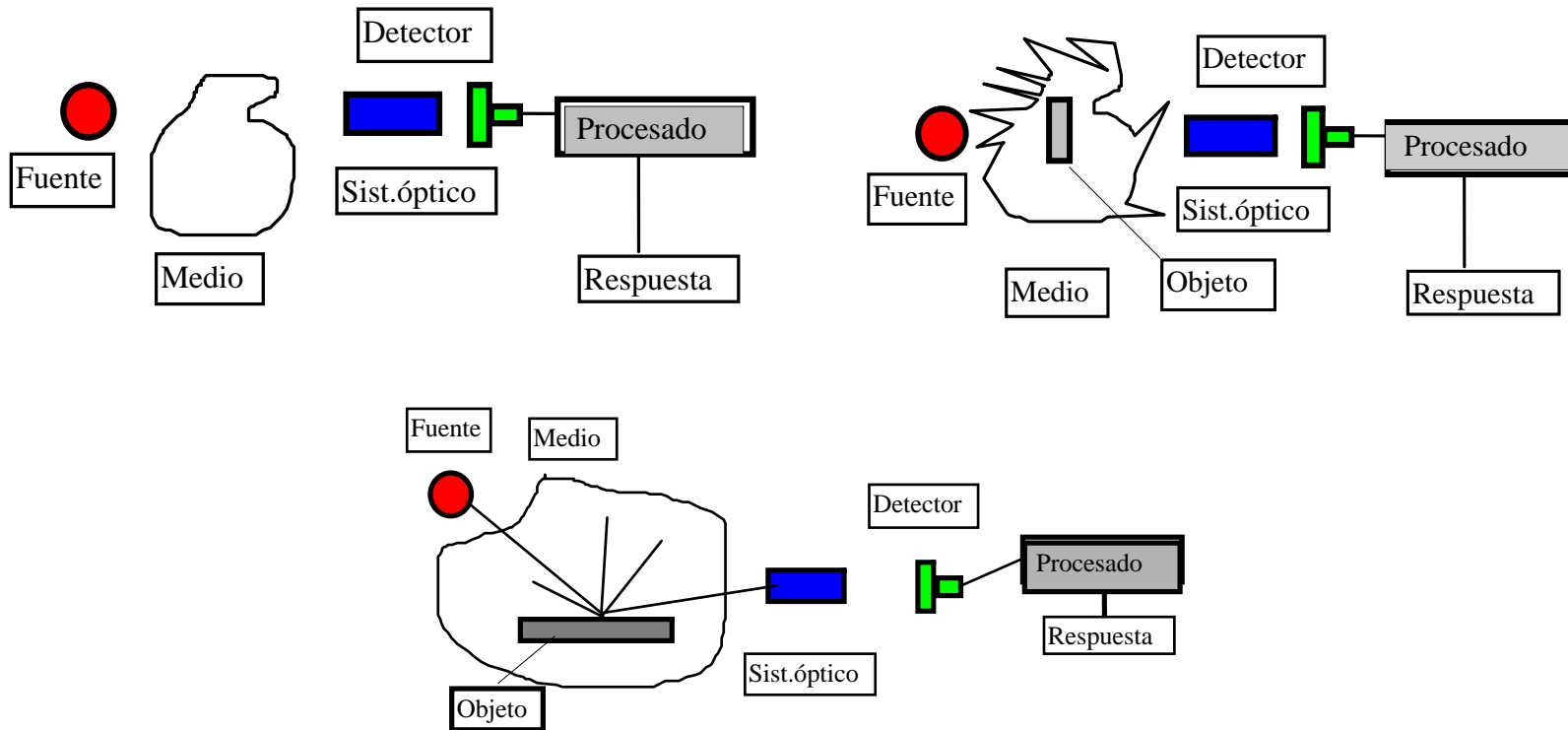
Alicia Pons
Instituto de Óptica. CSIC

Esquema

- Generalidades
- Radiometría absoluta: patrones primarios
 - Basados en fuentes
 - Basados en detectores
- Intensidad Luminosa: Candela
- Flujo Luminoso: Lumen
- Perspectivas futuras

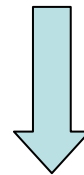
Generalidades

- **Campo metrológico importante en diversidad de aplicaciones: precisión y exactitud en la medida de la radiación (luz)**



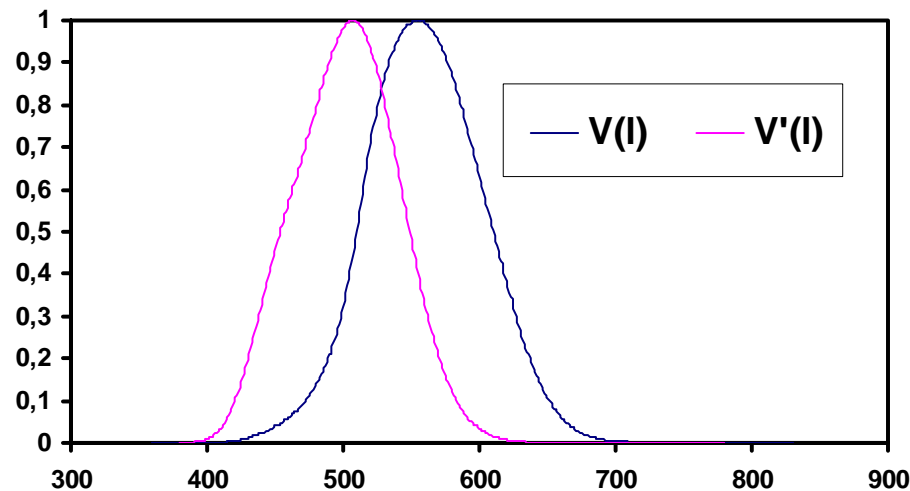
Generalidades

Fotometría: medir radiación óptica visible, luz. Correlación de resultados con sensación visual



CIE

Funciones de eficiencia espectral luminosa: $V(\lambda)$ y $V'(\lambda)$



$V(\lambda)$ máximo en 555 nm

Generalidades

Radiometria: medidas físicas de la radiación óptica en función de λ

Paso de magnitudes radiométricas a fotométricas

$$X_v = K_m \int_{\lambda} X_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

K_m eficacia luminosa espectral máxima (vision fotópica) = 683 lm/W

K_m visión escotópica = 1700 lm/W

$V'(\lambda)$ máxima en 507 nm

Radiometria absoluta

Patrones primarios basados en fuentes:

- Blackbody
- Radiación sincrotrón

Ambos tipos producen energía radiante en un amplio intervalo espectral y se calcula a partir de principios físicos fundamentales basados en parámetros físicos

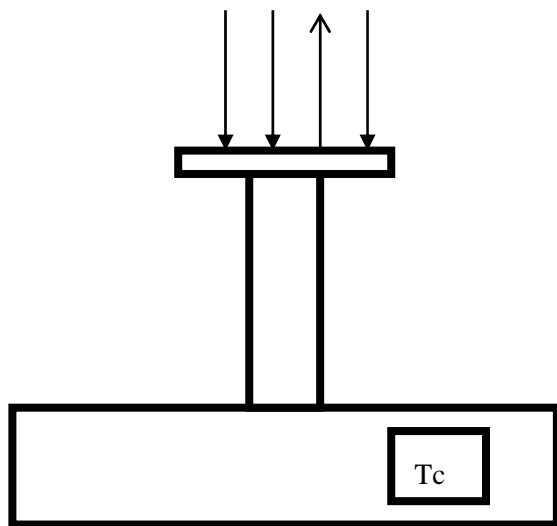
$$L(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \left(\frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \right)$$

$$I(\lambda : W, B, R, \theta) = \frac{4e^2 c R}{3\lambda^4} \gamma^{-4} (1 + \chi^2)^2 \left[K_{2/3}^2(\xi) + \frac{\chi^2}{1 + \chi^2} K_{1/3}^2(\xi) \right]$$

Radiometría absoluta

Patrones primarios basados en detectores: origen de radiometría moderna

- Radiómetros absolutos: detecta y cuantifica nivel de radiación óptica incidente por referencia directa a otro fenómeno físico medible y no requiere calibración externa



Gradiente de temperatura

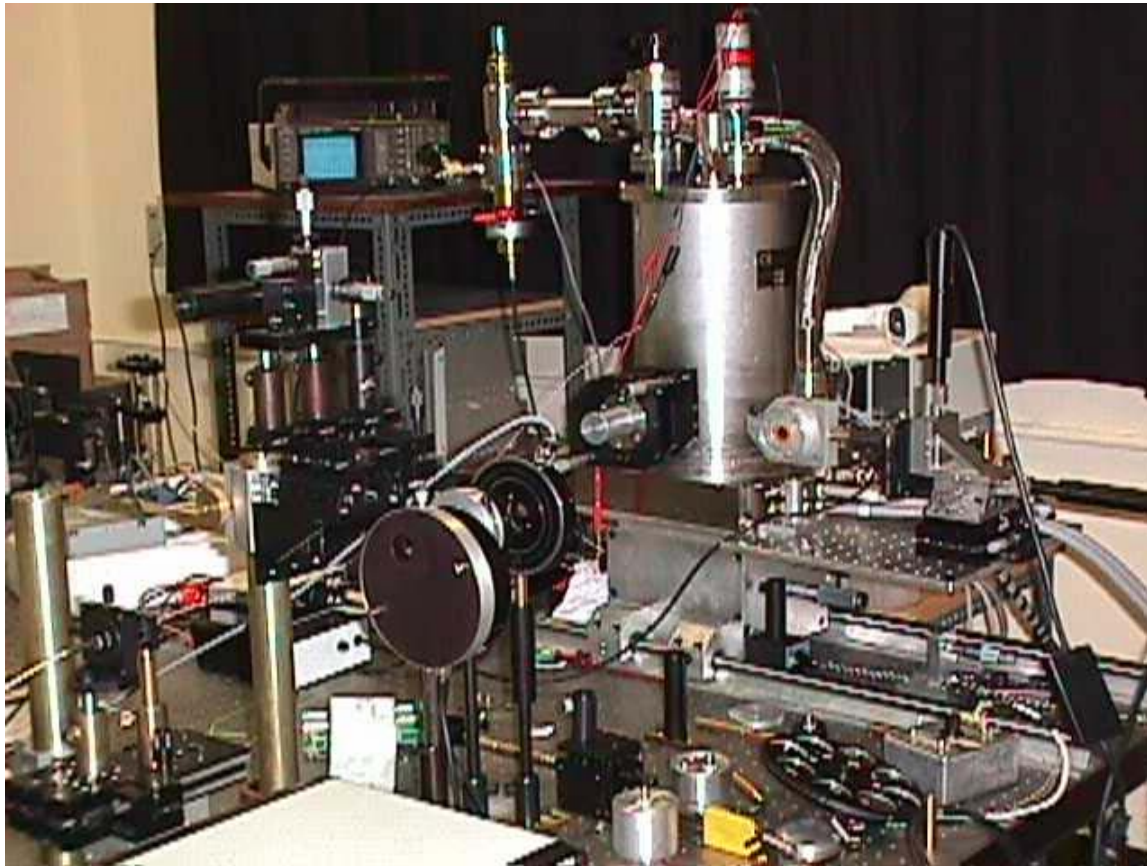
Radiómetro ES errores debidos a:

- Absorción incompleta
- No equivalencia
- Medida incorrecta --- pérdidas en contactos

T ambiente → Radiómetros criogénicos

Radiometria absoluta: radiómetro criogénico

Base de las escalas fotométricas y radiométricas en NMIs (IO)

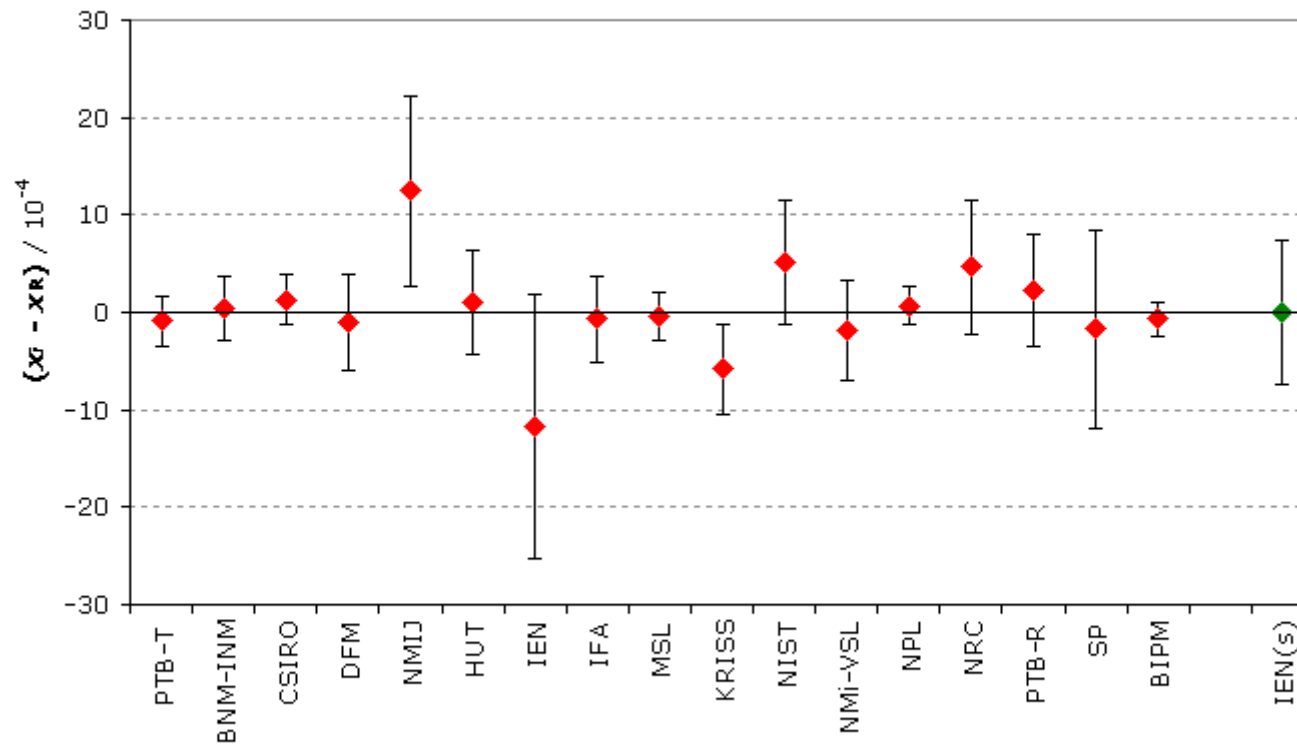


- potencia óptica
 - láser polarizado
 - τ ventana
- < 0,01 %

CCPR-S3: comparison of cryogenic radiometers

Wavelength: 514 nm

The uncertainty bars correspond to the expanded uncertainty $k = 2$



Green diamond indicates the difference value $[x_I - x_R]$ resulting from the subsequent bilateral comparison between BIPM and IEN.

Intensidad Luminosa: candela

La candela es la intensidad luminosa en una dirección dada, de una fuente que emite radiación monocromática de 540×10^{12} Hz de frecuencia y cuya intensidad energética en esa dirección es de $1/683$ W sr⁻¹

De aquí resulta que la eficacia espectral luminosa, K, de una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz es exactamente 683 lm/W.

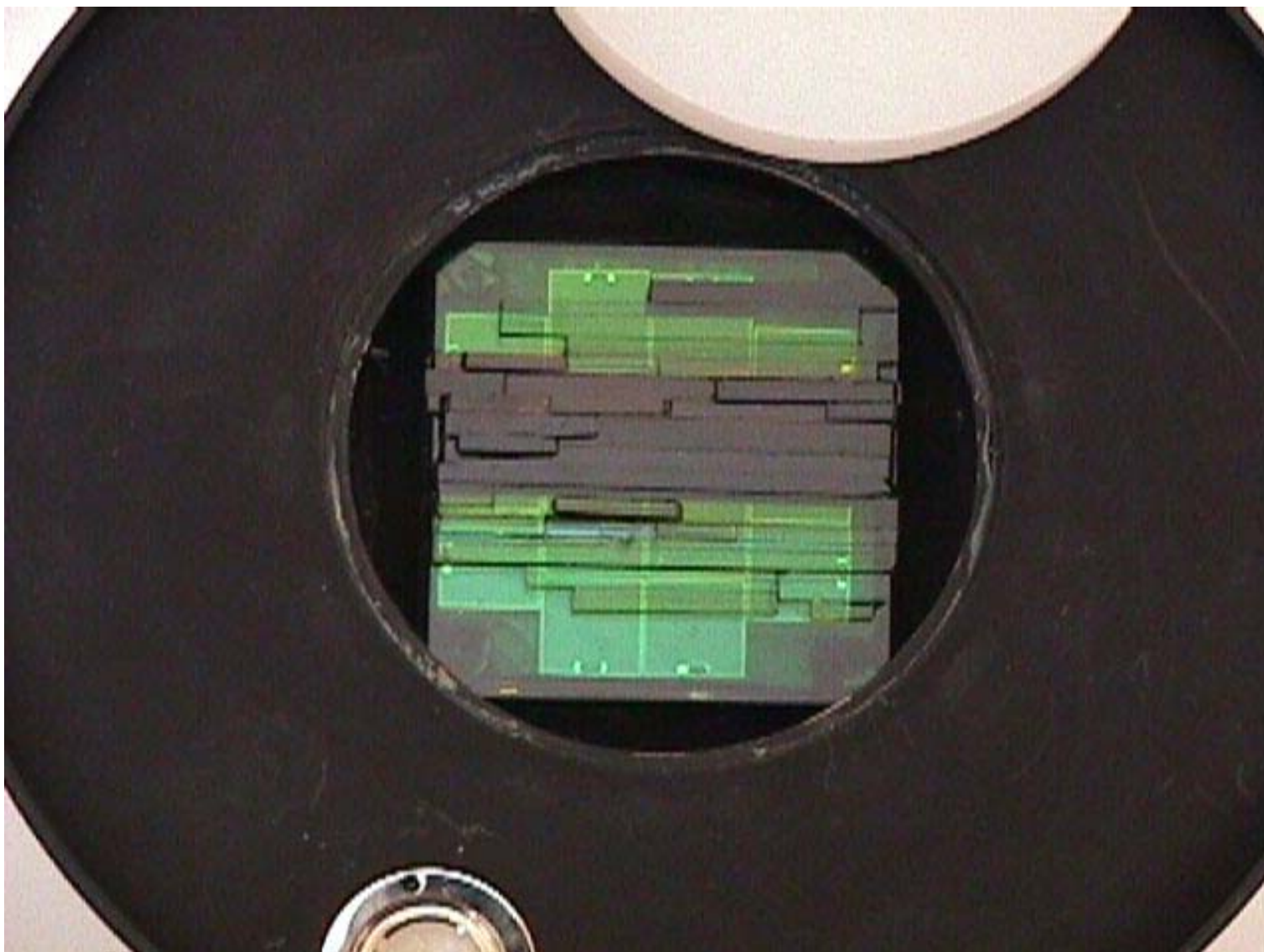
Candela: realización

De acuerdo con
$$E_v = K_m \int E(\lambda)V(\lambda)d\lambda$$

$$I_v = E_v \cdot d^2$$

siendo $K_m = 683 \text{ lm/W}$

La Intensidad Luminosa se puede obtener a partir de la medida de la Irradiancia Espectral o a partir de medidas de Iluminancia. En este segundo caso se puede reducir drásticamente la incertidumbre de la medida utilizando un radiómetro corregido espectralmente para $V(\lambda)$ (Fotómetro).



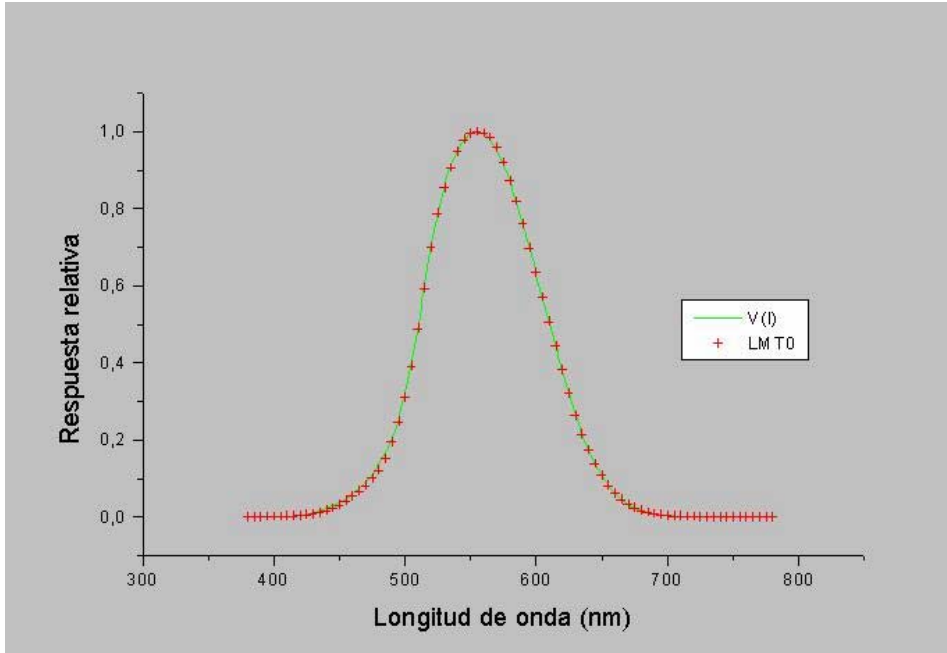
CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Candela: realización

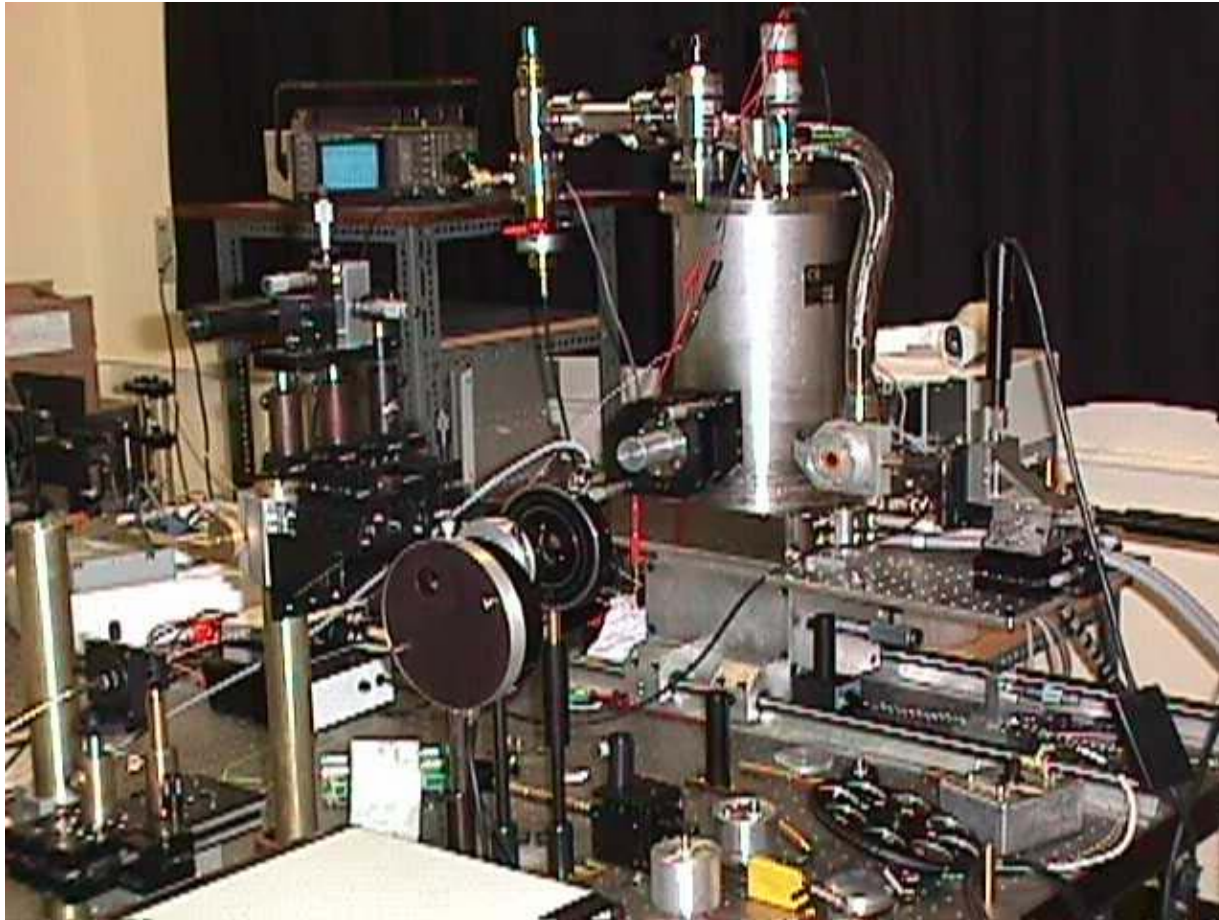


$$I_v = K_m d^2 FI / S(555)A$$

$$F = \frac{\int \phi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int \phi_e(\lambda) s(\lambda) d\lambda}$$



Candela: realización



- Haz monocromático
- Estrecho
- Paralelo
- Polarizado



Patrón de
transferencia:
fotodiodo de
silicio

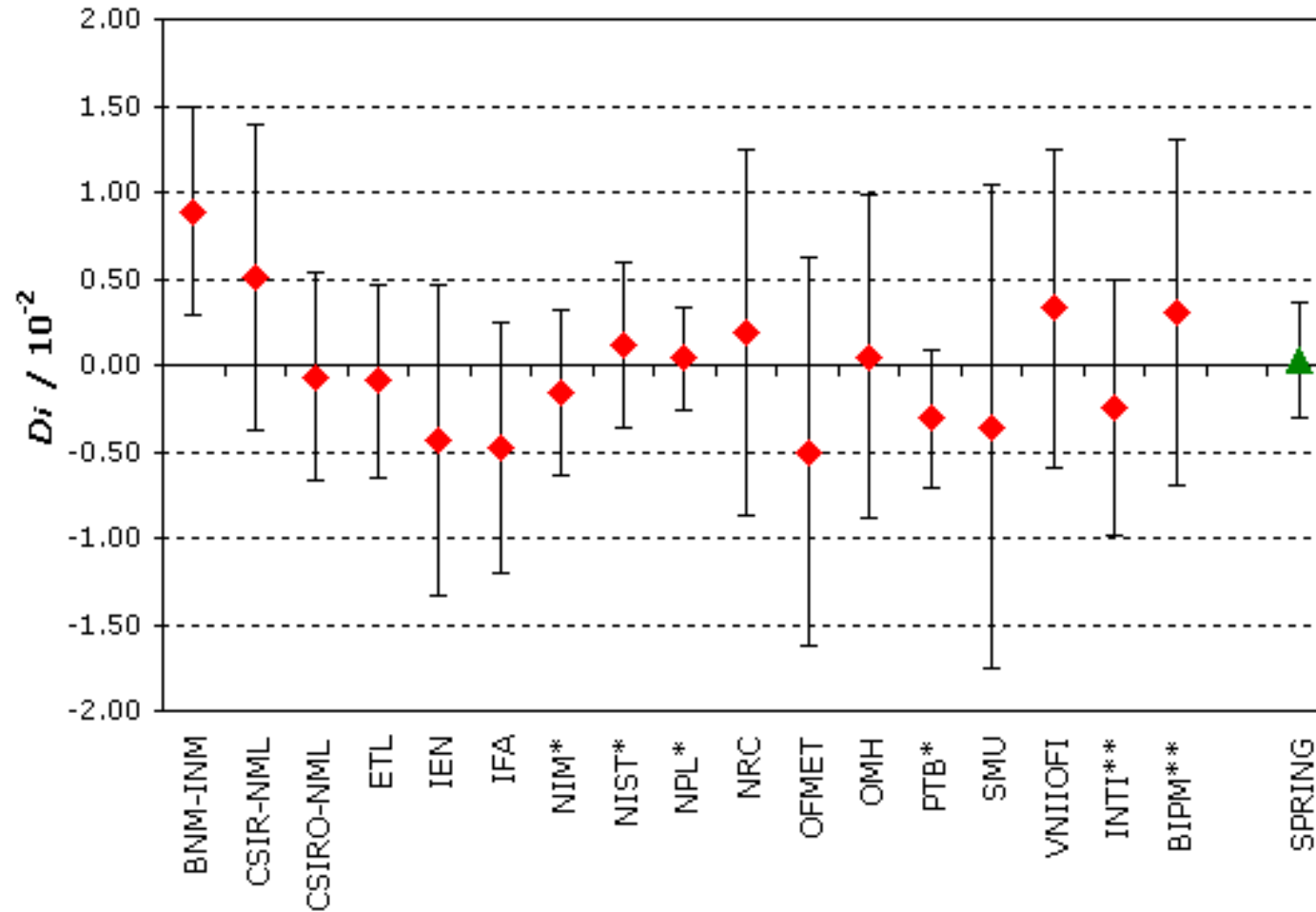
Candela: resultados

$$I = E_v \cdot d^2$$

Fuentes de incertidumbre que afectan a los valores de intensidad luminosa

Fuente de incertidumbre	Incertidumbre (%)
Respuesta del fotómetro	0.005
Responsividad a 555 nm	0.34
Factor de corrección F	0.03
Distancia	0.004
Área del fotómetro	0.01
Incertidumbre combinada	0.34

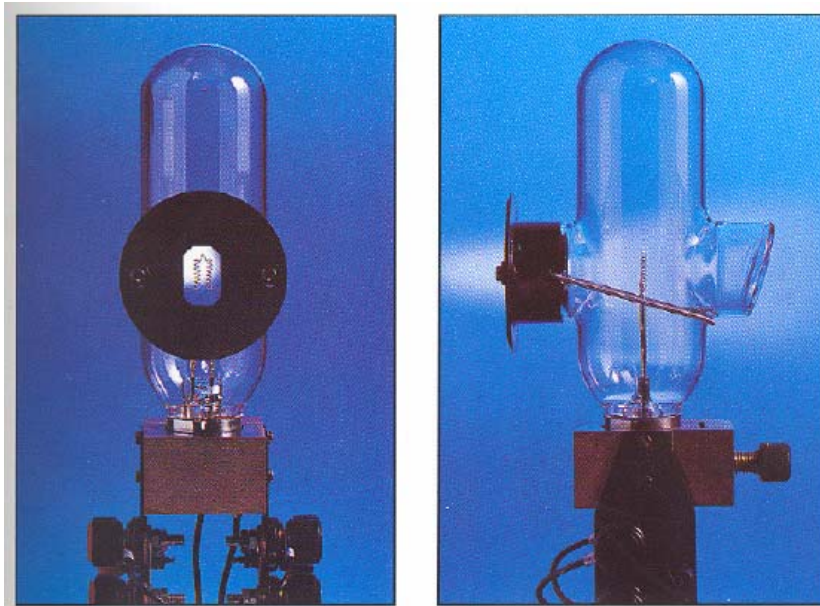
CCPR-K3 Luminous Intensity



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Candela: mantenimiento y transferencia



Two views of the LMS lamp developed jointly by NPL and Polaroid Special Lamps



Flujo Luminoso: Lumen

El lumen es el flujo luminoso emitido en un ángulo sólido unidad por un manantial puntual uniforme que tiene una intensidad luminosa de una candela



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Flujo Luminoso

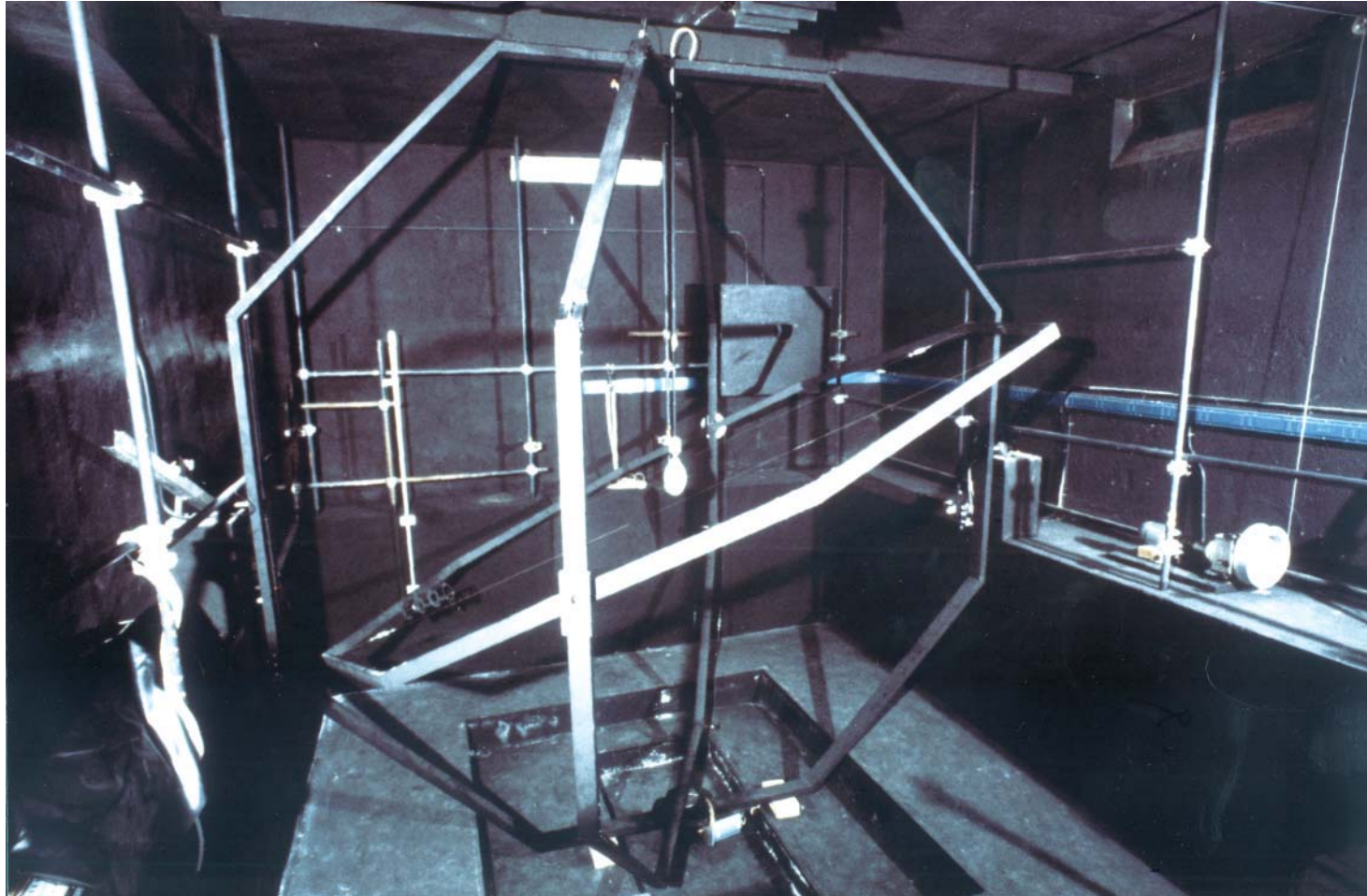
El flujo luminoso nos da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz en todas las direcciones del espacio.

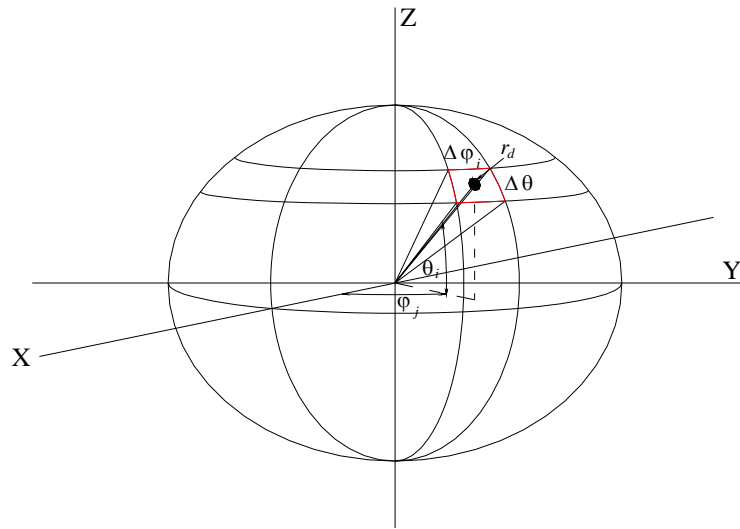


Diferencia entre flujo e intensidad luminosa.

El flujo luminoso se puede calcular a partir de las medidas de la iluminancia sobre una superficie esférica centrada en el elemento emisor de la fuente. → goniofotómetro

Goniofotómetro utilizado para realizar el lúmen





r= 1881 mm

Método zonal

Figura 2.- Distribución de los puntos de muestreo

$$\phi_v = f_I f_p f_d f_l (1 - IR) (1 - \phi_{stray}) \sum \frac{S_z}{R_v} A_z$$

f_I estabilidad corriente
 f_p desalineamiento
 f_d incidencia no normal
 f_l no linealidad

$$A_{i,j} = r^2 (\varphi_{j+1} - \varphi_j) (\cos \theta_i - \cos \theta_{i+1})$$

$$\rightarrow \theta = \varphi = 10^\circ \quad N = 648$$

Flujo Luminoso: ejemplos

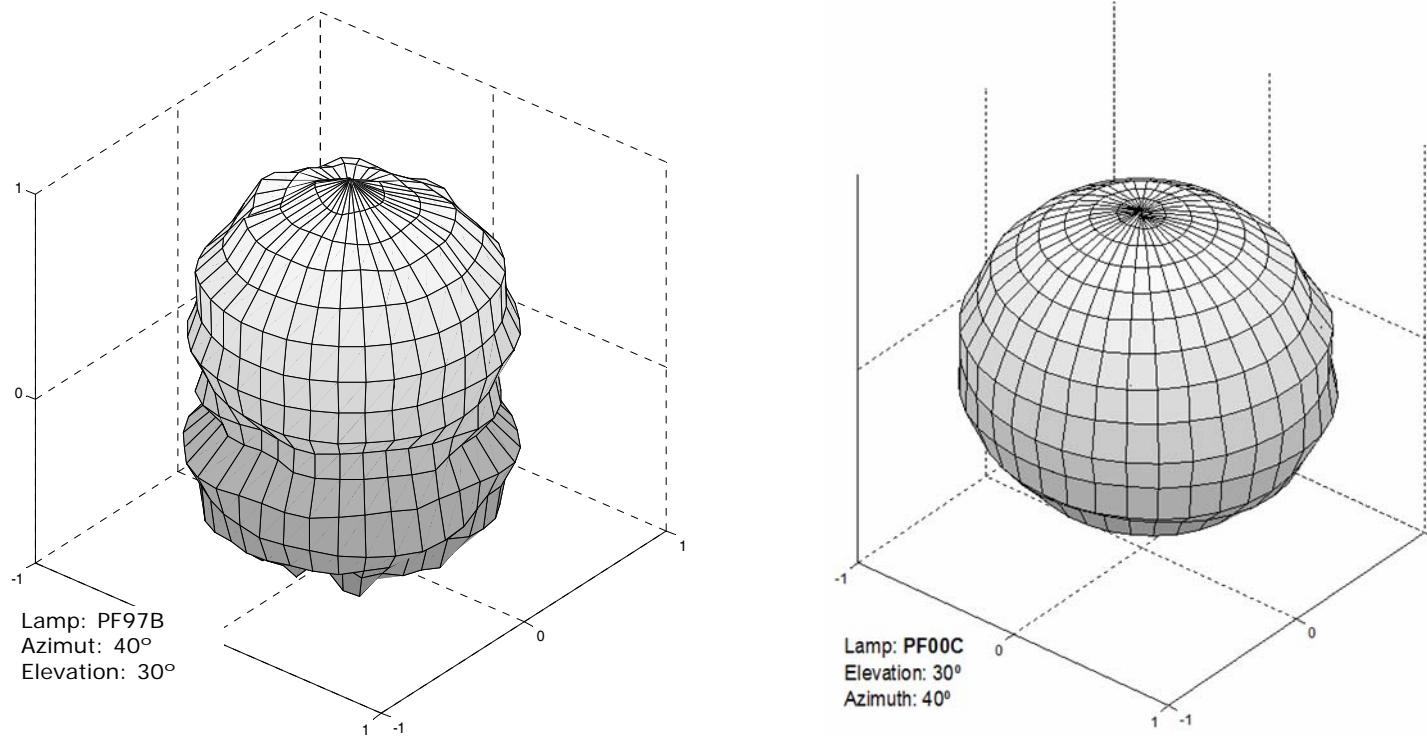


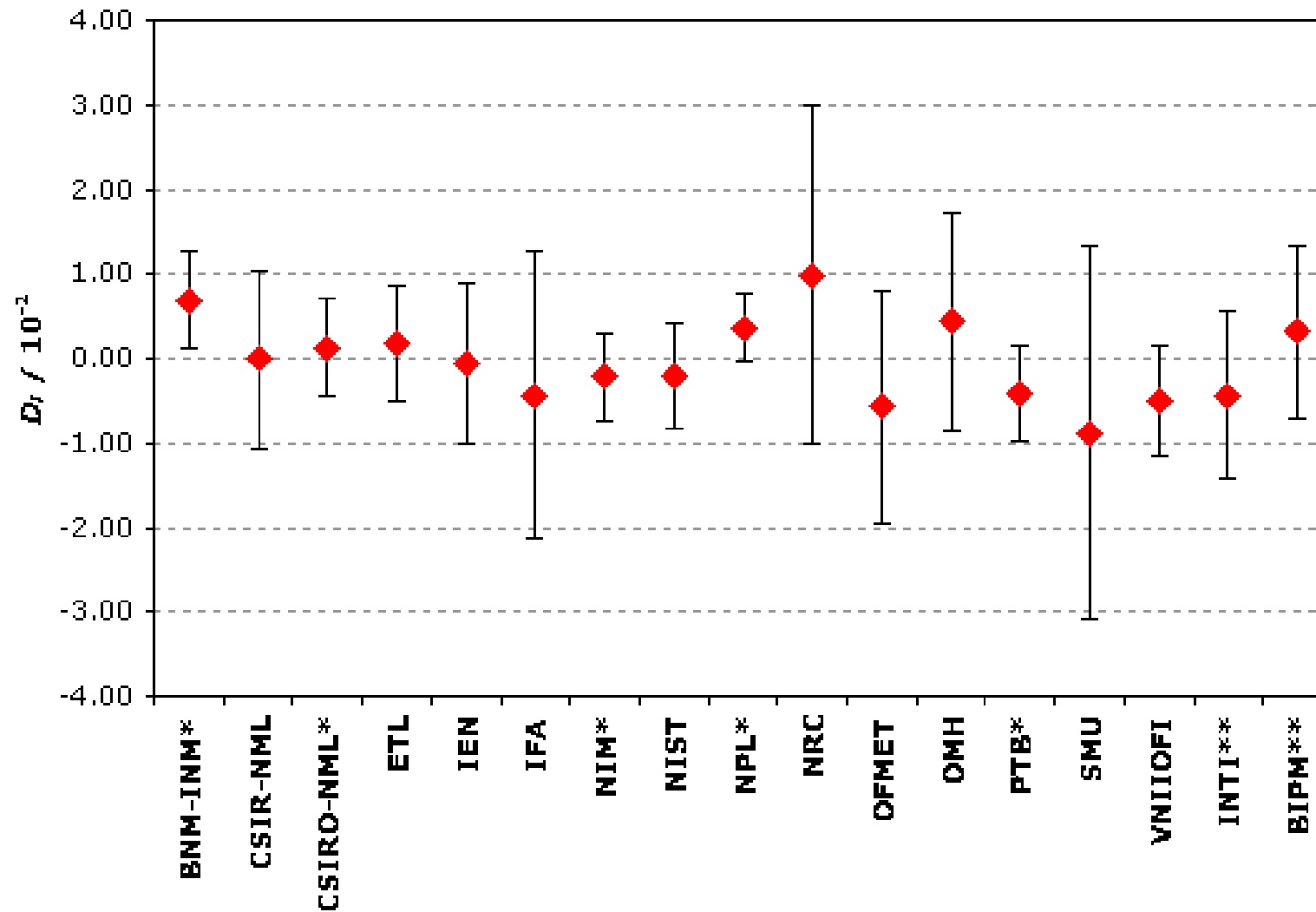
Fig. 4.- Diagrama de flujo luminoso a) Lámpara PF97B, b) PF00C.

Lumen: resultados

Tabla de incertidumbres

Fuente	Valor
f_I	0.00014
f_p	0.00026
f_d	0.0001
f_l	0.0005
1-IR	0.0002
$1-\phi_{\text{stray}}$	0.0001
S_z	0.0001
R_v	0.0037
A_z	0.0007
Total	0.0038

CCPR- K4 Luminous Flux



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Lumen: transferencia



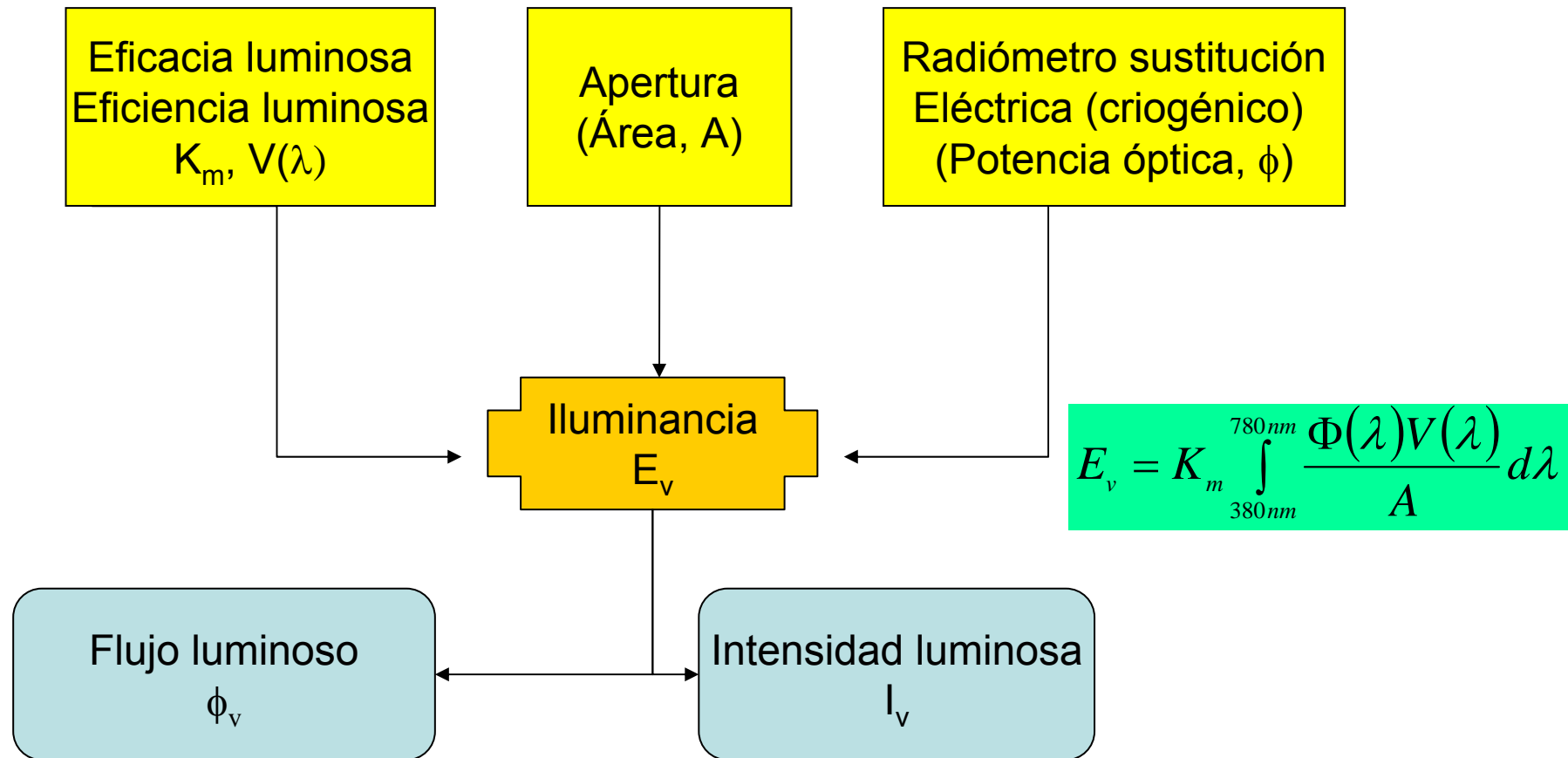
D= 3m

Patrones de
transferencia



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Patrones Nacionales CSIC-IO: situación actual



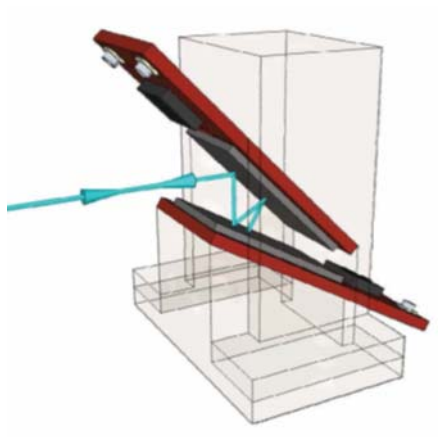
Previsiones de desarrollo

- Patrones se han basado en lámparas de incandescencia
- Tecnologías ópticas en constante evolución: Nuevas fuentes de luz basadas en estado sólido (LEDs y OLEDs)
- Unidades básicas y derivadas al más alto nivel y disseminación de unidades (rápida y de bajo coste)
- *Candela*: diversas reformulaciones pero todavía alta incertidumbre en comparación con otras magnitudes

Proyecto Q-Candela: nuevo patrón radiométrico PQED

- 77 K: incertidumbre limitada a 10 ppm
- Temperatura ambiente: eficiencia cuántica interna = 1 (100 ppm) en visible

Previsiones de desarrollo: proyecto Q-Candela



$$s(\lambda) = \frac{e\lambda}{hc} [1 - \rho(\lambda)] [1 - \delta(\lambda)]$$



Coste reducido en un factor 10!!!



Previsiones de desarrollo: proyecto NEWSTAR

- Patrones primarios para radiometría absoluta (1 ppm/100 ppm ~ 77K/RT)
- Trazabilidad a la radiometría espectral (RT-PQED)
 - Luxómetro de referencia: incertidumbre en iluminancia < 1000 ppm
 - Termometría de radiación: radiómetro de filtro
 - Medidor de potencia de fibras ópticas

Muchas gracias por su
atención



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS