



CONGRESO NACIONAL DE Física Cuántica del TecNM

“REVOLUCIÓN CUÁNTICA: 100 AÑOS TRANSFORMANDO LA REALIDAD”

De los fundamentos cuánticos a la ingeniería de la luz: Un viaje hasta las fibras ópticas

Ponente: **Dr. Romeo Selvas**

Universidad Autónoma de Nuevo León



ANIVERSARIO



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



CONGRESO NACIONAL DE
Física Cuántica del TecNM
"REVOLUCIÓN CUÁNTICA: 100 AÑOS TRANSFORMANDO LA REALIDAD"

Fundamentación de la cuántica



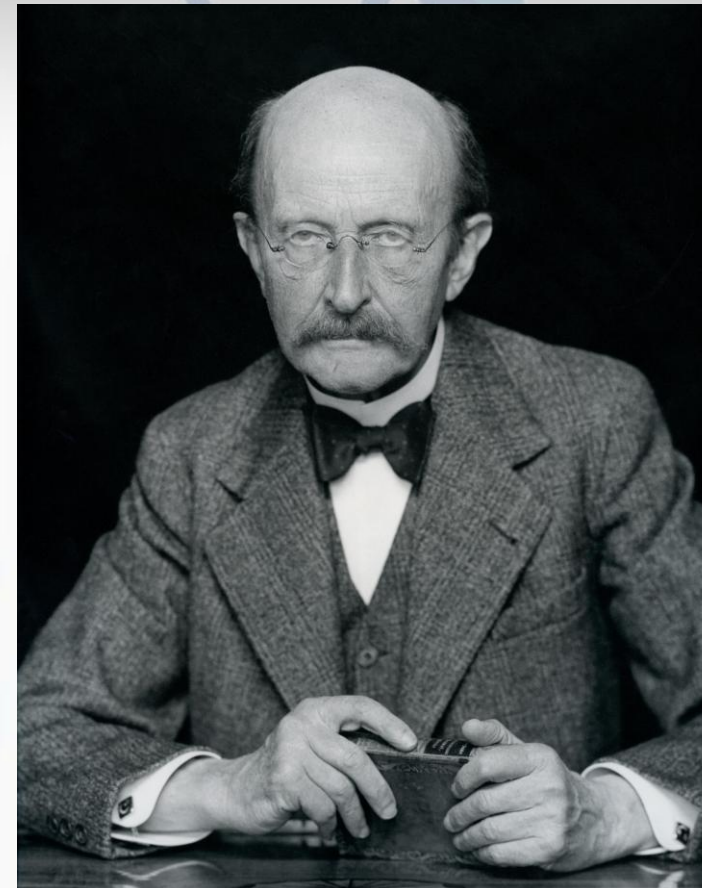


Mecánica cuántica y sus orígenes

El padre de la mecánica cuántica:

Max Planck es considerado el padre de la mecánica cuántica.

En 1900 propuso que la energía se emite en paquetes discretos llamados “cuantos”, idea que rompió con la física clásica y dio origen a la teoría cuántica.



United Nations General Assembly

Declaration of 2025 as the



INTERNATIONAL YEAR OF
Quantum Science
and Technology

88th Plenary Meeting of the 78th General Assembly

June 7, 2024

Adoption of Draft Resolution (A/78/L.70)



ANIVERSARIO



Mecánica cuántica moderna



SOLVAY CONFERENCE 1927

consulted by postnccolour.com

A. PICARD	E. HENRIOT	P. EHRENFEST	Ed. HERSEN	Th. DE DONDER	E. SCHRÖDINGER	E. VERSCHAFFELT	W. PAULI	W. HEISENBERG	R.H. FOWLER	L. BRILLOUIN
P. DEBYE	M. NIJHSEN	W.L. BRAGG	H.A. KRAMERS	P.A.M. DIRAC	A.H. COMPTON	L. de BROGLIE	M. BORN	N. BOHR		
L. LANGMUIR	M. PLANCE	Mme CURIE	H.A. LORENTZ	A. EINSTEIN	P. LANGEVIN	C.E. GUYE	C.T.R. WILSON	D.W. RICHARDSON		

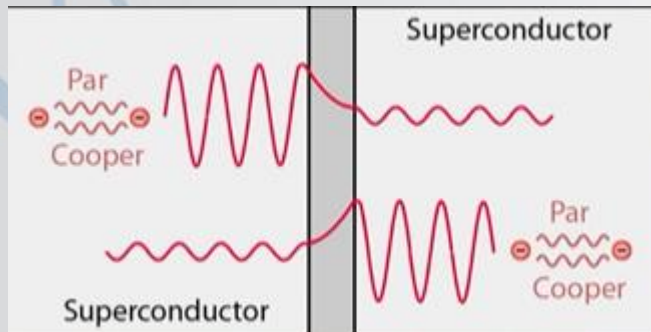
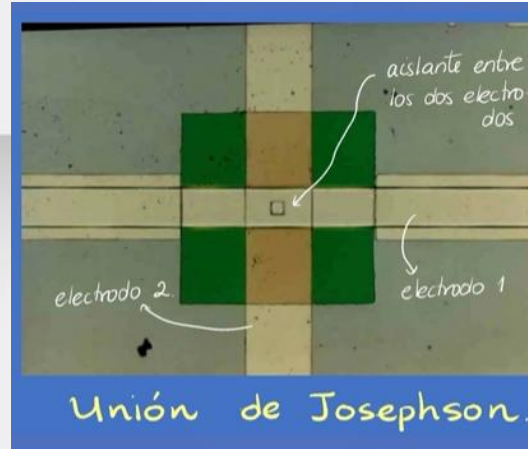
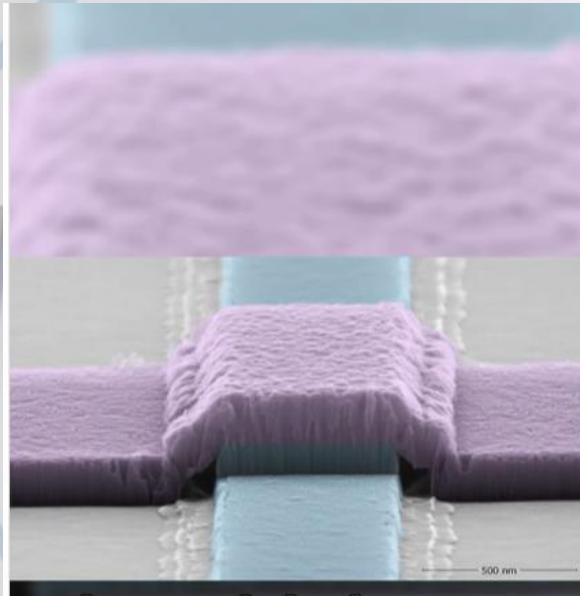
Luego, **Einstein**, **Bohr**, **Heisenberg** y **Schrödinger** desarrollaron la mecánica cuántica moderna, pero el punto de partida histórico fue la propuesta de Planck.



Premios Nobel de los Científicos de Solvay, 1927

Científico	Año del Nobel	Área	Motivo principal
Albert Einstein	1921	Física	Descubrimiento del efecto fotoeléctrico
Niels Bohr	1922	Física	Investigaciones sobre la estructura del átomo
Marie Curie	1903 (Física) / 1911 (Química)	Física / Química	Radiación ; descubrimiento de polonio y radio
Max Planck	1918	Física	Descubrimiento de los cuantos de energía
Werner Heisenberg	1932	Física	Creación de la mecánica cuántica
Erwin Schrödinger	1933	Física	Desarrollo de la ecuación de onda
Paul Dirac	1933	Física	Nuevas formas productivas de la teoría cuántica
Louis de Broglie	1929	Física	Descubrimiento de la naturaleza ondulatoria del electrón
Wolfgang Pauli	1945	Física	Principio de exclusión de Pauli
Max Born	1954	Física	Interpretación probabilística de la función de onda
Hendrik Antoon Lorentz	1902	Física	Influencia del magnetismo sobre la radiación

- **17 de los 29 participantes de Solvay 1927 fueron Premio Nobel.**
- La conferencia reunió **más premios Nobel por metro cuadrado** que cualquier otro evento científico en la historia.
- Muchos premios se otorgaron **después de 1927**, confirmando que Solvay reunió talento **en el momento exacto de ruptura científica.**
- Varias contribuciones premiadas son la **base directa de la fotónica, semiconductores, láseres y tecnologías cuánticas modernas.**



Los 3 científicos que ganaron el Nobel de Física 2025 por hacer que "las extrañas propiedades del mundo cuántico" funcionen en un chip



BBC NEWS MUNDO



Fundamentos

¿Qué es la mecánica cuántica?

Rama de la física que describe el comportamiento de sistemas muy pequeños (átomos, electrones y fotones), donde ya no aplican las reglas clásicas.

Las partículas pueden comportarse como ondas, estar en varios estados a la vez (superposición) y presentar conexiones a distancia (entrelazamiento).

Solo podemos predecir probabilidades de encontrarlas en ciertos lugares o energías.

Analogía simple: Como una moneda en el aire: mientras gira no es solo "cara" o "cruz", sino ambas posibilidades. Al observar, se define.



Fundamentos

Para que sirve

Gracias a esto existen

- Los láseres

- Los chips de las computadoras

- La fibra óptica

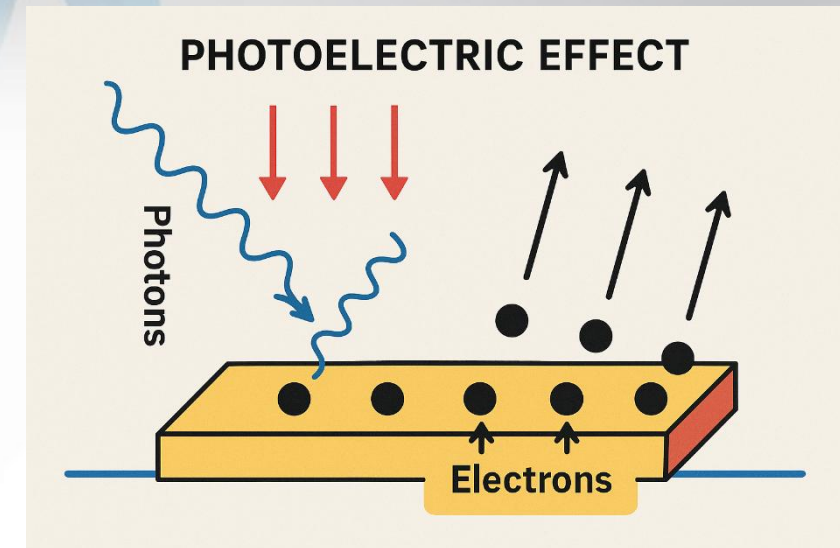
- La resonancia magnética nuclear

- Las computadoras cuánticas o supercomputo

En general explica el comportamiento extraño pero real del mundo microscópico, del cual depende toda la tecnología moderna.

Efecto fotoeléctrico

- La **luz** puede **arrancar** electrones de un **metal**. (idea propuesta por **Albert Einstein**).
- La luz formada por **fotones**, **paquetes** de energía.
- Un fotón con **suficiente** energía **choca** contra una superficie de un metal.
- Puede **sacar** (expulsar) un **electrón** del metal.
- Si el fotón no trae suficiente energía, aunque la luz sea muy intensa, no saldrá ningún electrón.



DEMOSTRACION DE QUE LA LUZ NO SOLO SE **COMPORTA** COMO **ONDA** SINO TAMBIEN COMO **PARTICULA**.



Efecto fotoeléctrico

- Cuando un fotón **incide** sobre un **metal** puede **arrancar** un electrón solo si tiene suficiente energía.
- Energía del fotón
- Función de trabajo del metal
- Energía cinética del electrón emitido
- Relación con la corriente de frenado

$$E_f = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\phi = h\nu_0$$

$$E_f > \phi$$

$$K_{\text{máx}} = E_f - \phi$$

$$K_{\text{máx}} = h\nu - \phi$$

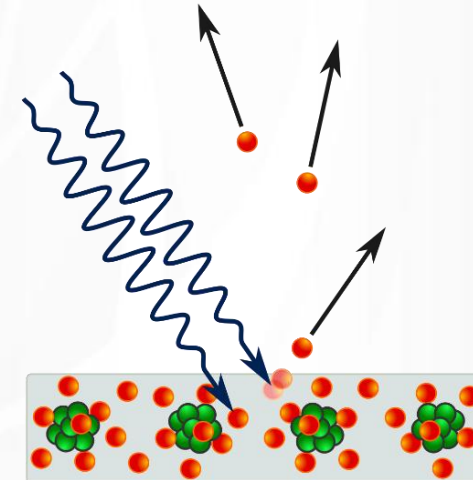
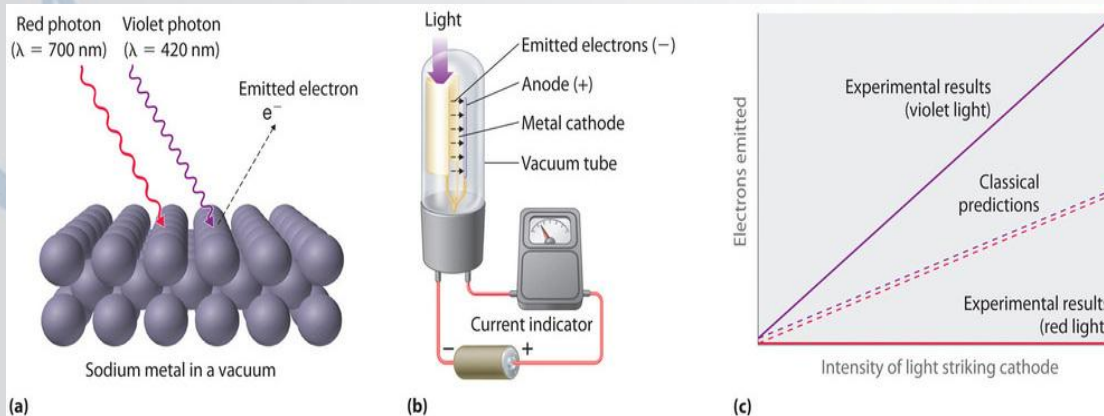
$$eV_s = h\nu - \phi$$

$$K_{\text{máx}} = eV_s$$

h =constante de **Plank**
 ν =frecuencia de la luz
 λ =longitud de onda
 c = velocidad de la luz
 ν_0 = frecuencia umbral
 K_{max} = exceso de energía
 e = carga del electrón
 V_s = Voltaje de frenado

Efecto fotoeléctrico

Es cuando la luz libera electrones de un metal, pero solo si la luz tiene la frecuencia (energía) adecuada.



Con esto se puede concluir que la energía, la luz, y la material tienen un comportamiento discreto.

Analogías a láseres

Max Planck propuso que la energía se emite en paquetes discretos.

En un **láser**, los electrones solo ocupan niveles de energía específicos y emiten fotones al saltar entre ellos, con energía.

$$E=h\nu$$

Esto produce luz monocromática, coherente y direccional: no es una emisión continua, sino cuantizada.

Analogía:

Un **láser** no es como una linterna continua, sino como un interruptor: o emite a una frecuencia exacta o no emite. Por eso la luz láser es monocromática, coherente y direccional: resultado de la cuantización propuesta por Planck.

Recordando

$$E(\text{eV}) = \frac{1240}{\lambda(\text{nm})}$$

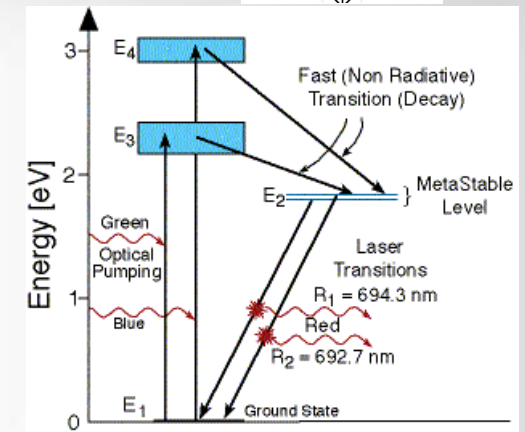


Diagrama energético de un láser (ej. Ruby)



Analogías a fibras ópticas

En una **fibra óptica** solo se propagan ciertos modos y longitudes de onda. Igual que un átomo solo acepta energías permitidas, la fibra acepta modos guiados y ventanas espectrales, mientras que otros estados se pierden.

En general:

Laser + fibras ópticas

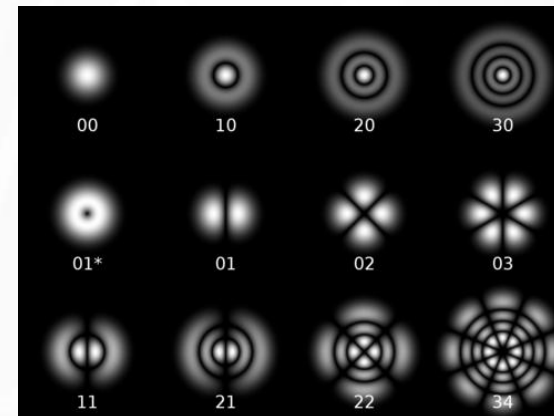
El mundo cuántico (*Plank*)

Energía en escalones

Solo saltos permitidos

Luz coherente

.



Modos de un resonador óptico



Que nos dice todo esto

De esta idea central,

SIN LA CUANTIZACION DE LA ENERGÍA DE PLANCK

No existiría una explicación y funcionamiento de los láseres

No habría telecomunicaciones por fibra

No podríamos tener sensores interferométricos, *Fiber Bragg Grating*,

No fuentes coherentes estables.



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



CONGRESO NACIONAL DE
Física Cuántica del TecNM
"REVOLUCIÓN CUÁNTICA: 100 AÑOS TRANSFORMANDO LA REALIDAD"

Ingeniería de la luz





Iniciaremos con estas pregunta/respuesta?

- ¿Que es la luz?

Es una ondas electromagnética y también puede describirse como partícula llamada fotones.

Transporta energía, se propaga a gran velocidad en el vacío, permite la visión, y es base de fenómenos físicos, químicos y tecnológicos fundamentales.

Optics everywhere



<https://www.youtube.com/watch?v=JjwVKqkwgzs>



De que manera se puede comprender a la luz

Propiedades de la luz

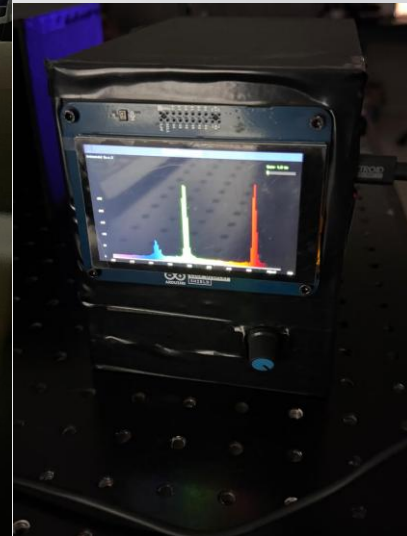
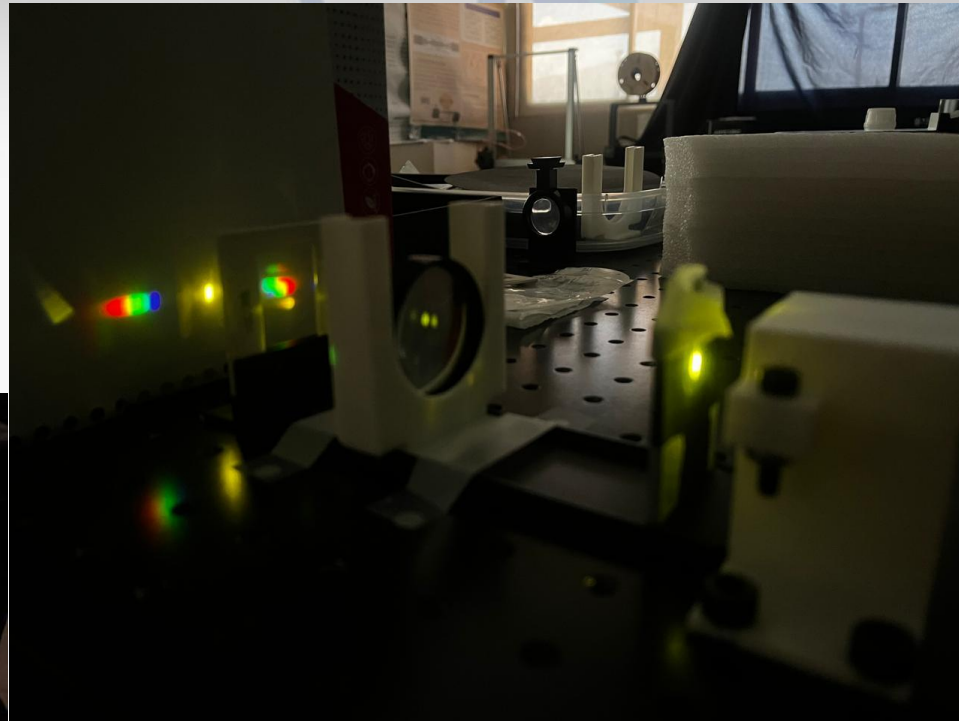
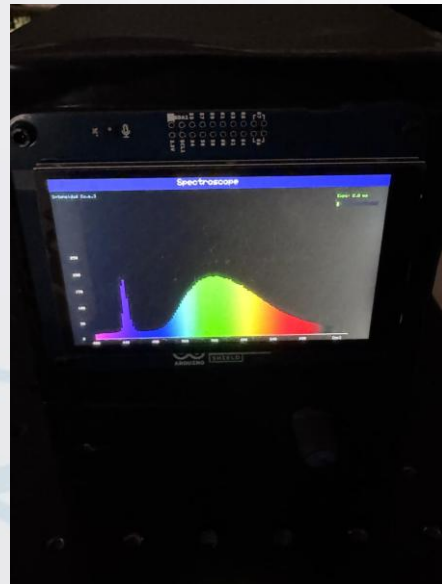
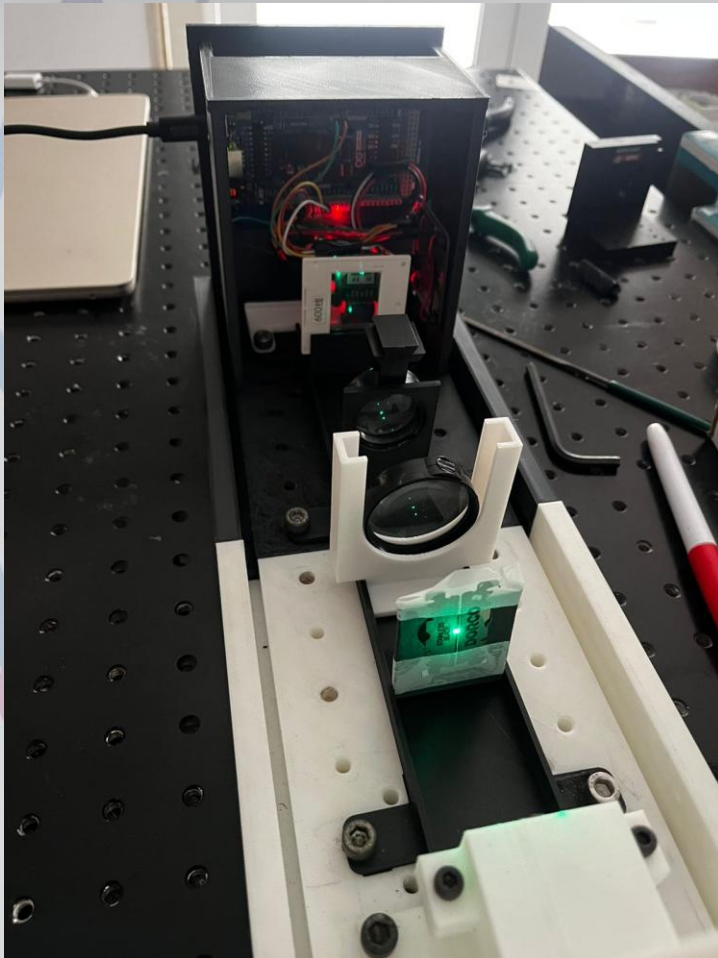
- Intensidad de la luz (atenuación o amplificación)
- Frecuencia
- Longitud de onda
- Fase
- Dirección de la propagación
- Polarización
- Birrefringencia

Analizar cómo la **luz** se *refleja*, *refracta* y forma *imágenes* para entender su comportamiento y aplicaciones

Fibra óptica, puede medir en base a lo que detectan utilizando interferometría, absorción reflexión, dispersión, efectos no-lineales, etc.

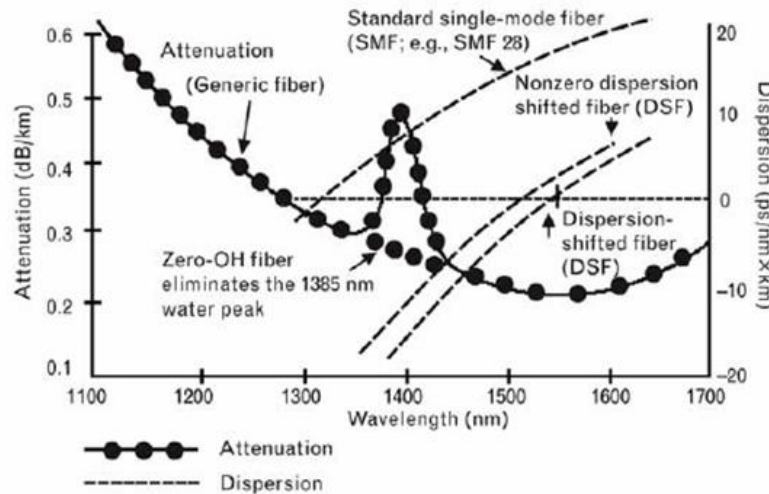
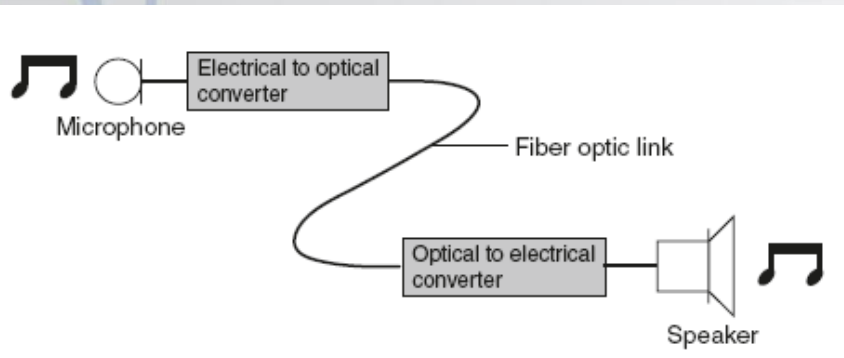


Espectro a medir



Fundamentos de comunicaciones con FO

Para que sirve



VENTAJAS

Gran **capacidad** de información.

Altas tasa y largas distancias de comunicación.

Inmune a interferencias.

Resistente a corrosión.

Ligeras y compactas.

Mayor **seguridad**.

Transmisor: Convierte una señal en luz y lo envía

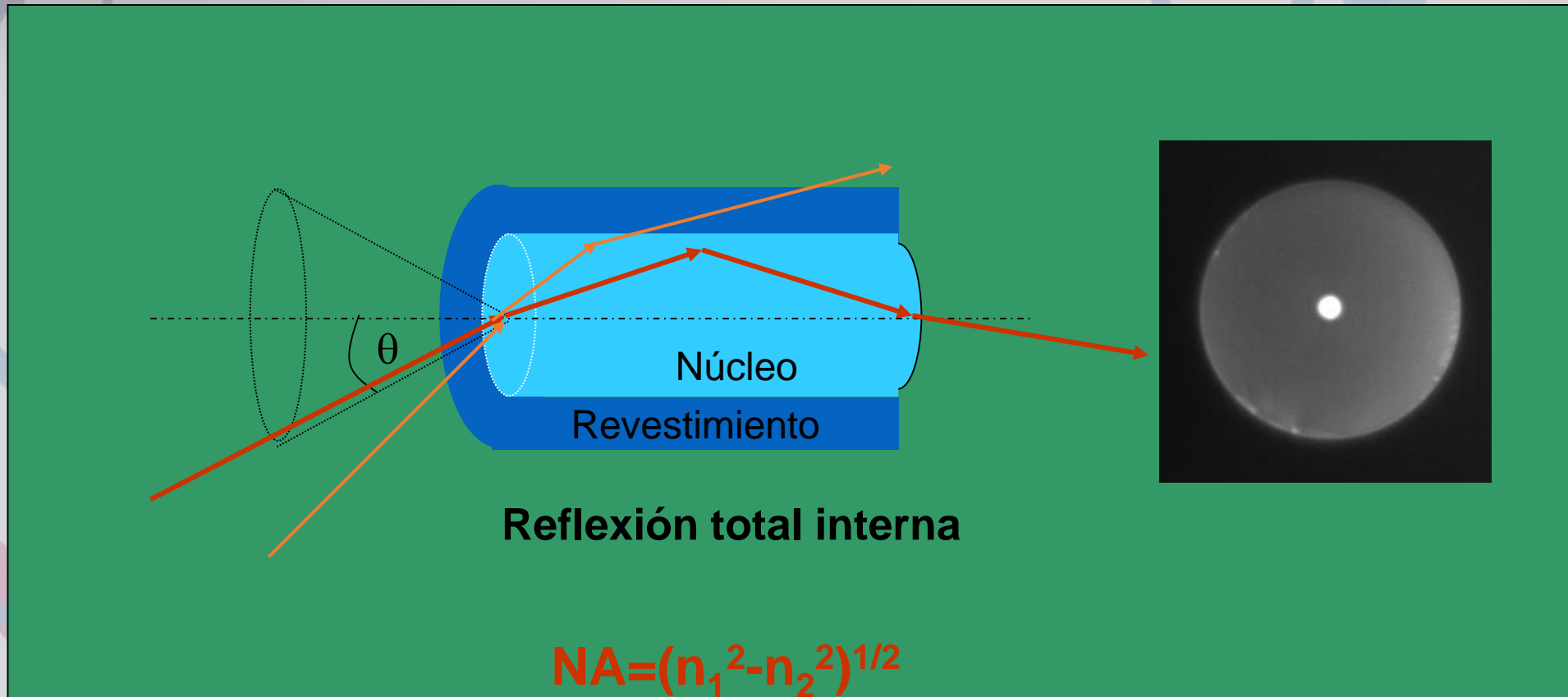
Receptor: Captura la luz y la convierte de nuevo en señal eléctrica

La fibra óptica: Medio para transportar a la luz

Los conectores: Unen los cables (del transmisor a receptor)



Principio de operación de una fibra óptica



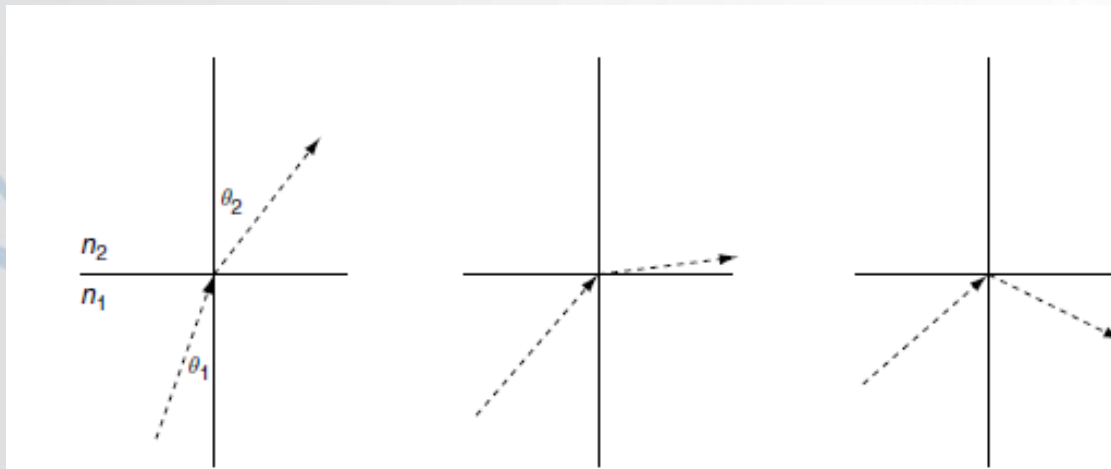


Fibras ópticas

Instrumento, componente, o guía de onda para aplicaciones.

Reflexión total interna: ocurre cuando la luz pasa de un medio con mayor índice de refracción a otro con menor índice y, al llegar a cierto ángulo, la frontera actúa como un espejo que devuelve toda la luz al interior.

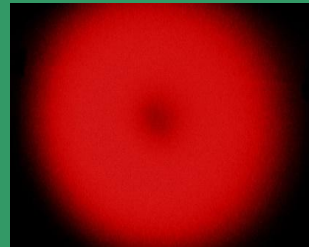
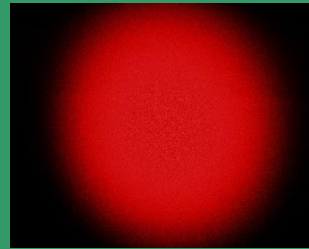
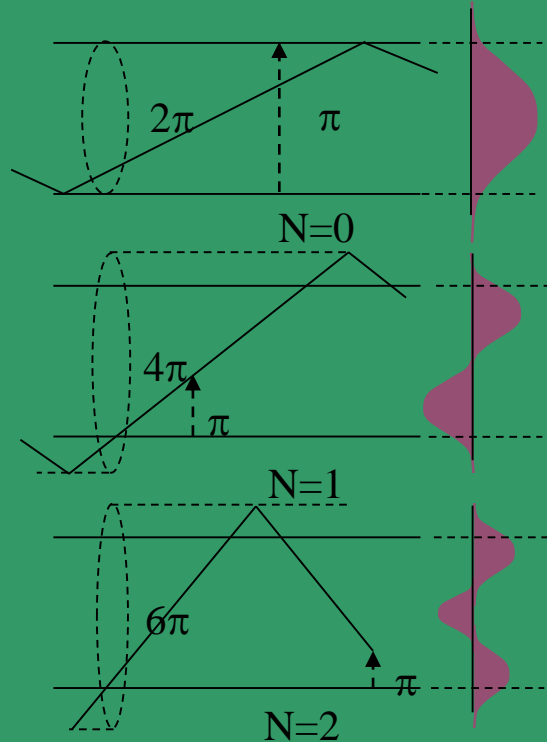
Material	n para $\lambda = 598,3 \text{ nm}$
Aire (0 °C)	1,00029
Oxígeno (0 °C)	1,00027
Agua (20 °C)	1,333
Etanol (20 °C)	1,362
Benceno (20 °C)	1,501
Hielo (0 °C)	1,310
Vidrio común (20 °C)	$\approx 1,51$
Vidrio de cuarzo (20 °C)	1,459
Poliestireno (20 °C)	$\approx 1,59$
Zafiro (20 °C)	1,769
Diamante (20 °C)	2,417



$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

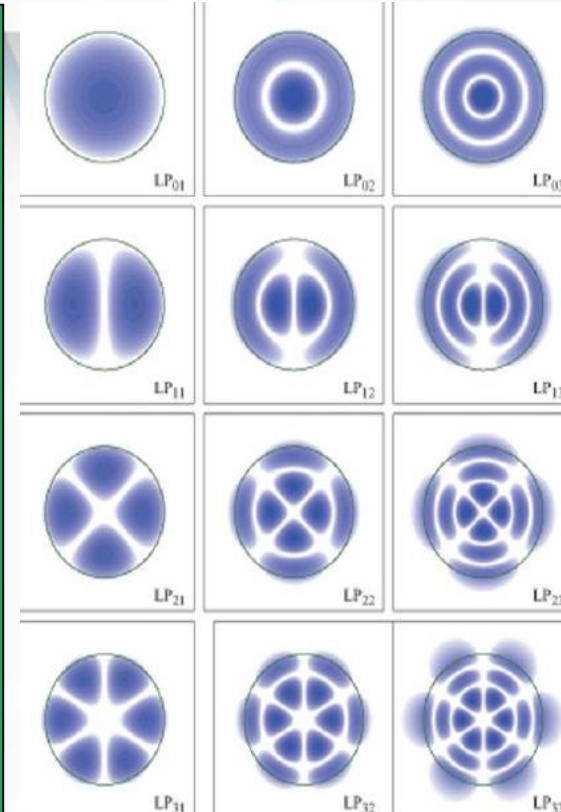
Ley de Snell

Modos de propagación en fibras ópticas



$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_{co}^2 - n_{cl}^2}$$

Experimental



*Diferentes modos de la luz
en una fibra multimodo*

Numérico



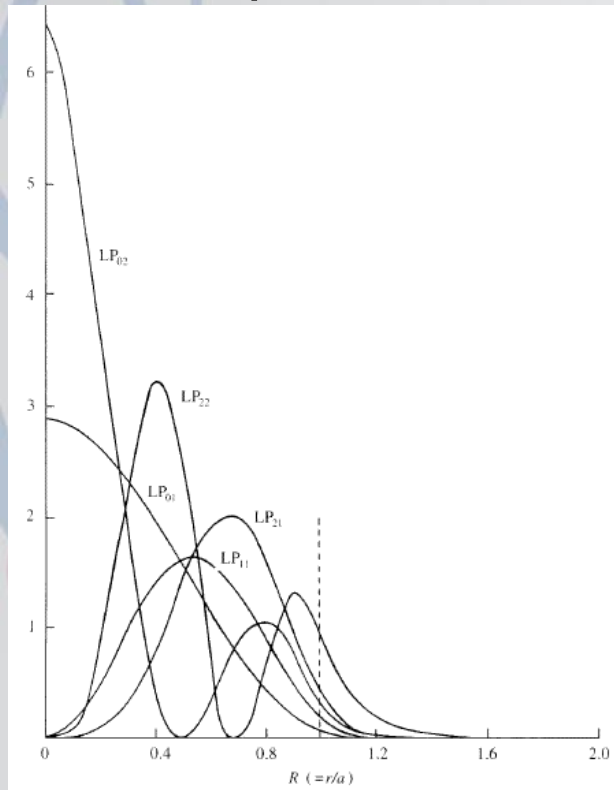
Matemáticamente se obtienen

Para que **sirve**

Distribución de Intensidad radial (normalizada a la misma potencia) de **algunos modos de bajos-ordenes** en una fibra de índice escalonado para $V=8$. Note que algunos modos de alto orden tienen una gran fracción de potencia en el revestimiento

$$\frac{d^2 R}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dR}{dr} + \left[k^2 n^2 - \beta^2 - \frac{m^2}{r^2} \right] R = 0$$

Ecuación de Maxwell y las aplicamos en coordenadas cilíndricas (r, ϕ, z) , la fibra tiene simetría circular, se obtiene ecuación de onda radial.





Fundamentación de sensado con FO

La energía no varía de manera continua, sino en pasos discretos. De forma similar, un sensor no mide directamente temperatura, esfuerzo o índices, sino cambios de fase.

En un MZI la fase sí cambia de forma continua, pero la información útil solo aparece al cruzar ciertos valores: cada 2π surge una nueva franja de interferencia.

Analogías:

Mecánica cuántica

Energía cuantizada
Saltos entre niveles
Estados permitidos
Estados prohibidos

Ocurre en un MZI de fibra

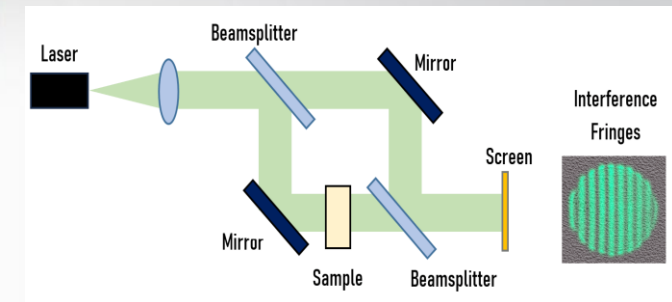
Fase se observa en múltiple de 2π
Pasos entre franjas
Máximos y mínimos de interferencia
Regiones sin cambio distinguibles

El sensor no percibe el mundo como una rampa continua, sino en escalones. Un interferómetro en fibra traduce magnitudes continuas en eventos discretos de interferencia, del mismo modo que la naturaleza cuántica traduce la energía en cuantos.

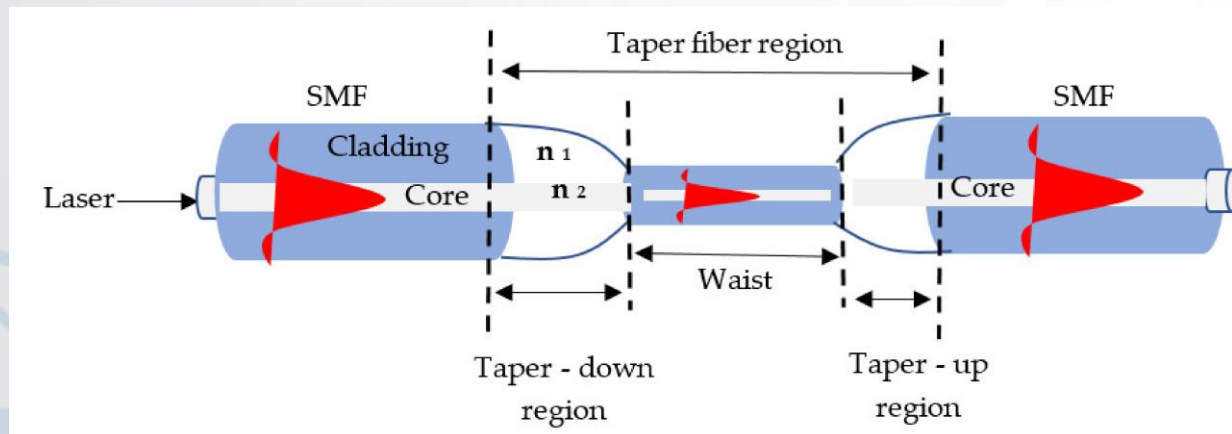
Sensor de fibra óptica tipo adelgazado (Tapered)

El sensor tipo '**adelgazado**' reduce progresivamente el diámetro de la fibra en una zona ('waist').

- **Aumenta** el campo evanescente, permitiendo **interacción** con el medio externo.
- **Importancia**: alta sensibilidad a variaciones de índice de refracción.
- **Usos**: sensores químicos/biológicos, detección de gases, monitoreo ambiental, detección de contaminantes.

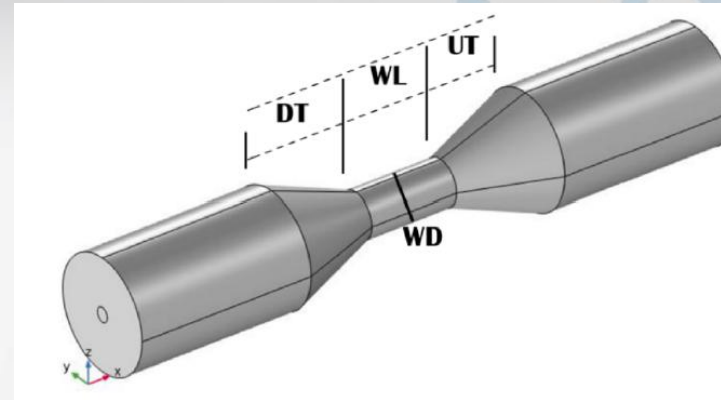
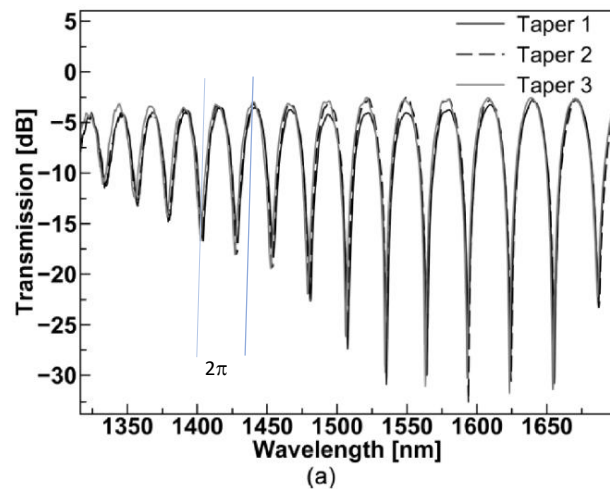


MZI en libre espacio y patrones de interferencia

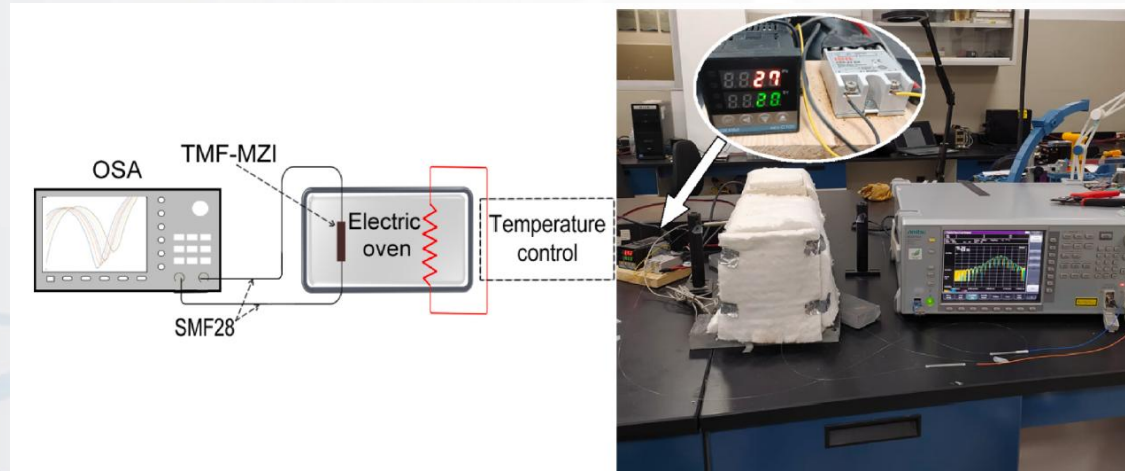
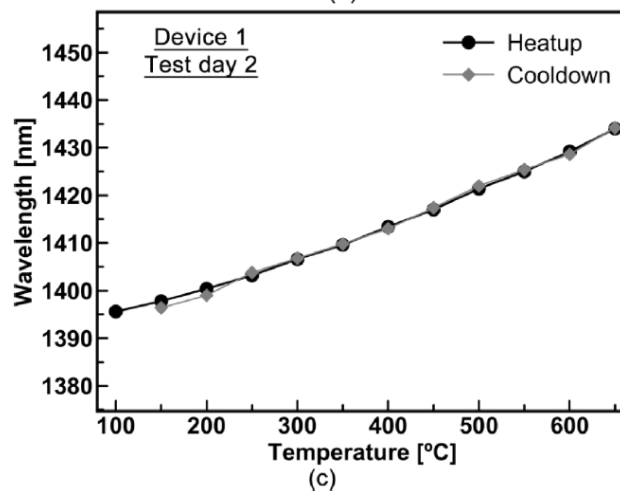


MZI todo fibra óptica

Fibras adelgazadas



<https://doi.org/10.1016/j.yofte.2023.103568>





Aplicaciones reales



Monitoriando
temperatura
superficial

Examinando
temperatura
en cables de
poder



Detección de
fuego en áreas
de peligro y en
tuneles



Busqueda
de aceite y
gas



Conclusiones y comentarios

- La óptica y la cuántica en México enfrenta **retos** tecnológicos y científicos, y a su vez baja vinculación, pero existen amplias oportunidades.
- Es un campo **estratégico** para el **futuro** del país
- La luz y fotones no solo ilumina, también **transforma** economías y sociedades.
- Una buena **oportunidad** se encuentra en las alianzas entre instituciones
- La **fibra adelgazada** aprovecha la *reducción del diámetro* para aumentar el campo evanescente y lograr alta sensibilidad. Excitando modos tanto en revestimiento como en núcleo de estas.

“La física no termina en la teoría, y la ingeniería no empieza sin ella. La frontera entre ambas es donde nacen nuevas tecnología”



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

El Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas (IYQ) 2025 reconoce los 100 años transcurridos desde el desarrollo inicial de la mecánica cuántica. ¡Únete a nosotros para comprometerte con la ciencia y la tecnología cuánticas y celebrarlo durante todo el año!

GRACIAS

romeo.selvasag@uanl.edu.mx

CONGRESO NACIONAL DE
Física Cuántica del TecNM

“REVOLUCIÓN CUÁNTICA: 100 AÑOS TRANSFORMANDO LA REALIDAD”

Dr. Romeo Selvas
FCFM-UANL



ANIVERSARIO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

Convocatoria para el

POSGRADO EN INGENIERÍA FÍSICA

- Maestría en Ingeniería Física Industrial (2 años)
- Doctorado en Ingeniería Física (4 años)

Ambos programas de estudios avanzados pertenecen al Sistema Nacional de Posgrados (SNP) en la categoría 1

MATRÍCULA ABIERTA

Docentes reconocidos por el SNII y PRODEP

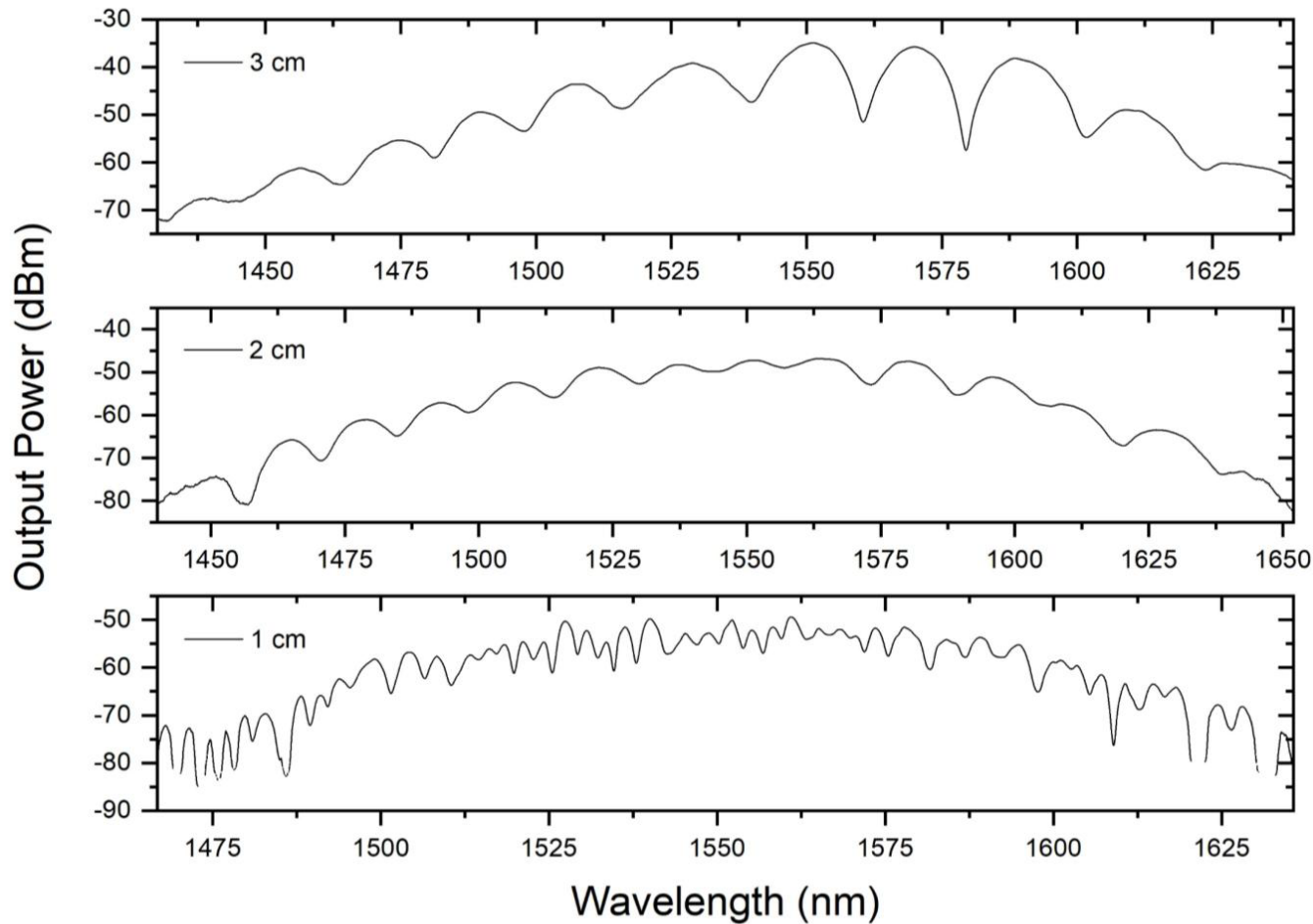
INFORMACIÓN



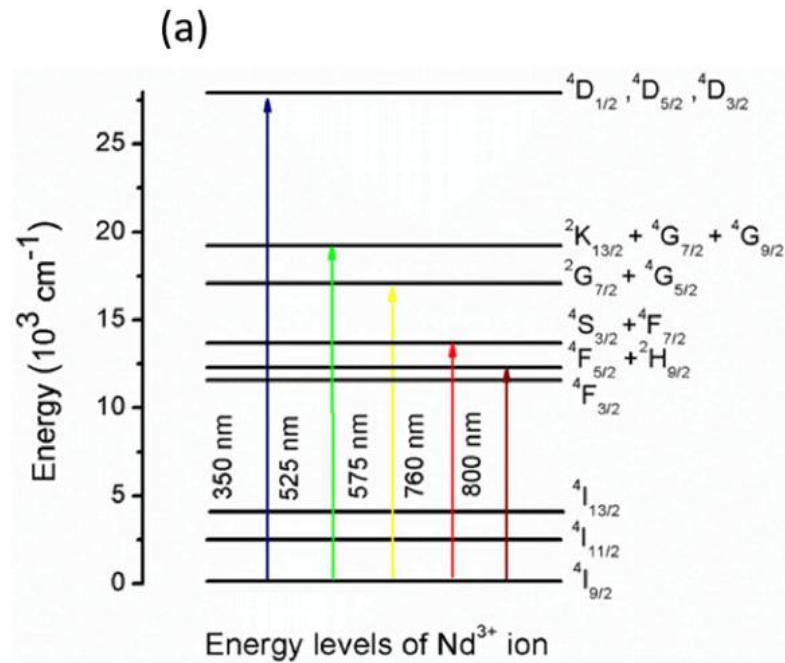
- Maestría en Ingeniería Física Industrial (MIFI)
- Doctorado en Ingeniería Física (DIF)

Ambos programas están acreditados por el Sistema Nacional de Posgrados (SNP-categoría 1) de CONAHCYT (becas disponibles)

Pasos para el Diseño de un dispositivo fotónico, una vez que se comprende la física del mismo.

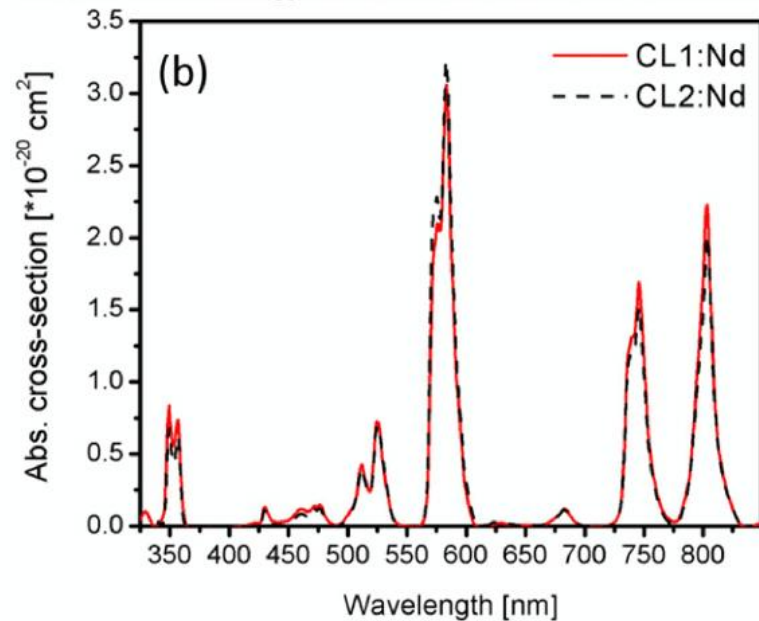


1. (A, amarillo) Espectro para MZI 3 cm; (B, celeste) Espectro para MZI 2 cm; (C, rojo) Espectro para MZI 1 cm.



Relación entre numero de onda con longitud de onda es:

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda}$$



- El diagrama de energía se dibuja en cm^{-1}
- La separación vertical es proporcional a $\tilde{\nu}$
- Permite ver rápidamente qué transiciones dan qué λ