

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA**

**SISTEMAS PROGRAMABLES**

**UNIDAD 1: SENORES**

Nombre del Alumno:

**Alexis Gabriel Zarate**

Número de Control:

**22161063**

Febrero 2026

<b>1. EXAMEN DIAGNÓSTICO.....</b>	<b>3</b>
(10 Preguntas de Opción Múltiple - Resueltas).....	3
<b>2. EXAMEN UNIDAD 1: SENSORES.....</b>	<b>5</b>
(10 Preguntas de Opción Múltiple - Resueltas).....	5
<b>3. RESUMEN: SENSORES ÓPTICOS Y DE TEMPERATURA.....</b>	<b>8</b>
Unidad 1 - Sistemas Programables.....	8
INTRODUCCIÓN.....	8
3.1 SENSORES ÓPTICOS.....	8
3.1.1 Definición y Principio de Operación.....	8
3.1.2 Clasificación de Sensores Ópticos.....	8
3. SENSORES DE REFLEXIÓN DIFUSA (PROXIMIDAD).....	9
C. POR TIPO DE LUZ/SERIE DETECTADA.....	9
1. SENSORES DE LUZ VISIBLE.....	9
2. SENSORES DE INFRARROJO (IR).....	9
3. SENSORES ULTRAVIOLETA (UV).....	10
D. SENSORES ÓPTICOS ESPECIALIZADOS.....	10
1. SENSORES DE IMAGEN (ARREGLOS).....	10
2. SENSORES DE DISTANCIA/PERFIL.....	10
3. SENSORES ESPECTRALES.....	10
4. SENSORES DE FIBRA ÓPTICA.....	11
3.1.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE SENSORES ÓPTICOS.....	11
A. CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES.....	11
B. CARACTERÍSTICAS DE RENDIMIENTO.....	11
C. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y AMBIENTALES.....	12
D. TABLA COMPARATIVA: SENSORES ÓPTICOS COMUNES.....	13
3.1.4 MODO DE COMUNICACIÓN DE SENSORES ÓPTICOS.....	13
A. NIVELES DE COMUNICACIÓN.....	13
B. PROTOCOLOS DIGITALES COMUNES.....	14
C. COMUNICACIÓN POR ETHERNET INDUSTRIAL.....	15
3.2 SENSORES DE TEMPERATURA.....	17
3.2.1 Tipos de Sensores de Temperatura.....	17
<b>4. TRADUCCIÓN Y RESUMEN: LECHNER (1973).....</b>	<b>18</b>
"Efectos de Estructura de Banda en Fotoconductividad de CdS Acoplado al Aire".....	18
INFORMACIÓN DEL DOCUMENTO.....	18
RESUMEN EJECUTIVO.....	18
CONTEXTO HISTÓRICO Y RELEVANCIA.....	18
HALLAZGOS PRINCIPALES DEL ESTUDIO.....	18
CONCLUSIONES DEL ESTUDIO ORIGINAL.....	19
<b>5. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</b>	<b>20</b>
Referencias adicionales sugeridas:.....	20

# 1. EXAMEN DIAGNÓSTICO

## (10 Preguntas de Opción Múltiple - Resueltas)

### 1. ¿Qué es un sensor?

- a) Un dispositivo que genera energía
- b) Un componente que detecta cambios en su entorno y responde con una señal eléctrica ✓
- c) Un actuador mecánico
- d) Un sistema de almacenamiento

**Respuesta correcta:** b)*Explicación:* Un sensor detecta estímulos físicos (luz, temperatura, presión) y los convierte en señales eléctricas interpretables por sistemas de control.

### 2. ¿Cuál es la función principal de un microcontrolador en sistemas programables?

- a) Generar electricidad
- b) Procesar señales de sensores y controlar actuadores ✓
- c) Almacenar datos permanentemente
- d) Enfriar el sistema

**Respuesta correcta:** b)*Explicación:* Los microcontroladores son el cerebro de los sistemas programables, procesando información de sensores y controlando dispositivos de salida.

### 3. ¿Qué tipo de señal produce un sensor analógico?

- a) Señal digital (0 o 1)
- b) Señal continua proporcional a la magnitud medida ✓
- c) Señal intermitente
- d) Señal de radio frecuencia

**Respuesta correcta:** b)*Explicación:* Los sensores analógicos producen señales continuas (por ejemplo, 0-5V o 4-20mA) proporcionales a la variable física medida.

### 4. ¿Qué protocolo de comunicación utiliza solo 2 cables (SDA y SCL)?

- a) SPI
- b) UART
- c) I2C ✓
- d) RS-485

**Respuesta correcta:** c)*Explicación:* El protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit) utiliza dos líneas: SDA (datos) y SCL (reloj), permitiendo comunicación con múltiples dispositivos.

### 5. ¿Cuál es la ventaja principal de los sensores digitales sobre los analógicos?

- a) Son más baratos
- b) Mayor inmunidad al ruido y facilidad de procesamiento ✓
- c) Consumen más energía
- d) Son más grandes

**Respuesta correcta:** b) *Explicación:* Las señales digitales son menos susceptibles a interferencias electromagnéticas y pueden procesarse directamente por microcontroladores sin conversión A/D.

**6. ¿Qué significa "resolución" en un sensor?**

- a) El tamaño físico del sensor
- b) La velocidad de respuesta
- c) **El cambio mínimo detectable en la variable medida ✓**
- d) El rango de operación

**Respuesta correcta:** c) *Explicación:* La resolución indica la capacidad del sensor para detectar pequeños cambios. Por ejemplo, 0.0625°C en un sensor de temperatura.

**7. ¿Qué tipo de interfaz hombre-máquina NO es común en sistemas programables?**

- a) Pantalla LCD
- b) Botones y teclados
- c) **Motor de combustión interna ✓**
- d) LEDs indicadores

**Respuesta correcta:** c) *Explicación:* Los motores de combustión no son interfaces de comunicación, sino actuadores mecánicos que no forman parte de la interfaz de usuario.

**8. ¿Cuál es el rango de temperatura típico de operación para sensores industriales?**

- a) 0°C a 50°C
- b) **-40°C a +85°C ✓**
- c) -100°C a +200°C
- d) 10°C a 30°C

**Respuesta correcta:** b) *Explicación:* Los sensores industriales están diseñados para operar en condiciones extremas, típicamente entre -40°C y +85°C.

**9. ¿Qué es el efecto fotoeléctrico?**

- a) Generación de luz por electricidad
- b) **Emisión de electrones cuando la luz incide sobre ciertos materiales ✓**
- c) Reflexión de la luz
- d) Absorción de calor

**Respuesta correcta:** b) *Explicación:* El efecto fotoeléctrico es la base de los sensores ópticos: los fotones liberan electrones en materiales semiconductores, generando corriente eléctrica.

**10. ¿Qué protocolo es más adecuado para comunicación a largas distancias en entornos industriales?**

- a) I2C
- b) SPI
- c) **RS-485 ✓**
- d) 1-Wire

**Respuesta correcta:** c) *Explicación:* RS-485 permite comunicación diferencial hasta 1200 metros, con alta inmunidad al ruido, ideal para entornos industriales.

## 2. EXAMEN UNIDAD 1: SENSORES

### (10 Preguntas de Opción Múltiple - Resueltas)

#### 1. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de los sensores fotoconductivos?

- a) Generan voltaje con luz
- b) Cambian su resistencia eléctrica al recibir luz ✓
- c) Emiten luz infrarroja
- d) Miden temperatura

**Respuesta correcta:** b) *Explicación:* Los fotorresistores (LDR) y fotodiodos de CdS/CdSe reducen su resistencia cuando son iluminados, basándose en el principio fotoconductivo.

#### 2. ¿Qué sensor de temperatura utiliza el protocolo 1-Wire?

- a) LM35
- b) DS18B20 ✓
- c) DHT22
- d) MAX31855

**Respuesta correcta:** b) *Explicación:* El DS18B20 es un sensor digital que utiliza comunicación 1-Wire, requiriendo solo un cable de datos y permitiendo alimentación parásita.

#### 3. ¿Cuál es la diferencia principal entre sensores de barrera (through-beam) y retrorreflexivos?

- a) El color que detectan
- b) La distancia de detección
- c) Los sensores de barrera tienen emisor y receptor separados, los retrorreflexivos usan un prisma ✓
- d) El voltaje de operación

**Respuesta correcta:** c) *Explicación:* Los sensores through-beam tienen componentes separados (hasta 100m), mientras que los retrorreflexivos combinan emisor/receptor y usan un reflector (5-20m típicamente).

#### 4. ¿Qué tipo de sensor de proximidad es más adecuado para detectar objetos de diferentes materiales a corta distancia?

- a) Coaxial (mismo eje emisor-receptor)
- b) Biaxial (ejes paralelos)
- c) Reflexión difusa por intensidad ✓
- d) Ultrasónico

**Respuesta correcta:** c) *Explicación:* Los sensores de reflexión difusa detectan objetos cercanos (mm a 2m) independientemente del material, midiendo la luz dispersa reflejada por la superficie.

#### 5. ¿Cuál es la ventaja del termopar (tipo K, J, T) sobre los sensores semiconductores?

- a) Mayor precisión
- b) Capacidad de medir temperaturas muy altas ✓
- c) Más económico

- d) Salida digital

**Respuesta correcta:** b) *Explicación:* Los termopares pueden medir temperaturas extremas (hasta 1000°C o más), mientras que los semiconductores están limitados típicamente a -55°C a +125°C.

**6. ¿Qué característica distingue a los sensores fotoemisivos (PMT, cátodos)?**

- a) Alta sensibilidad pero baja función de trabajo ✓
- b) Bajo costo
- c) Tamaño compacto
- d) Operación sin alimentación

**Respuesta correcta:** a) *Explicación:* Los fotomultiplicadores (PMT) tienen amplificación interna de  $10^4\text{-}10^7$ , siendo extremadamente sensibles para aplicaciones como espectroscopia y astronomía.

**7. ¿Qué protocolo de comunicación requiere más pines pero ofrece la mayor velocidad?**

- a) I2C (2 pines)
- b) 1-Wire (1 pin)
- c) SPI (4+ pines) ✓
- d) Analógico (1 pin)

**Respuesta correcta:** c) *Explicación:* SPI (Serial Peripheral Interface) requiere CS, CLK, MISO, MOSI pero ofrece velocidades de 10-100 Mbps, siendo full-duplex.

**8. ¿Cuál es el rangopectral de los sensores de luz visible?**

- a) 100-280 nm (UVC)
- b) 400-750 nm (visible) ✓
- c) 750-1400 nm (infrarrojo cercano)
- d) 3-8 μm (infrarrojo medio)

**Respuesta correcta:** b) *Explicación:* Los sensores de luz visible detectan el espectro que percibe el ojo humano, entre 400 nm (violeta) y 750 nm (rojo), usando fotodiodos de Si o LDR.

**9. ¿Qué sensor de estado sólido integrado es más común para aplicaciones de sistemas embebidos?**

- a) PMT (fotomultiplicador)
- b) Termopila
- c) LM335 (sensor de temperatura tipo IC) ✓
- d) Pirómetro

**Respuesta correcta:** c) *Explicación:* El LM335 (y similares como LM35, DS18B20) son sensores integrados que combinan elemento sensor y circuitería en un chip, facilitando su uso con microcontroladores.

**10. ¿Qué factor limita principalmente la velocidad de respuesta de un sensor de temperatura?**

- a) El protocolo de comunicación
- b) La constante de tiempo térmico RC ✓
- c) El color del sensor
- d) La marca del fabricante

**Respuesta correcta: b)** *Explicación:* El tiempo de respuesta depende de factores térmicos como capacitancia de unión, resistencia serie y tiempo de tránsito de portadores, típicamente expresado como  $\tau = R \cdot C$ .

### 3. RESUMEN: SENSORES ÓPTICOS Y DE TEMPERATURA

#### Unidad 1 - Sistemas Programables

#### INTRODUCCIÓN

Los sensores son componentes fundamentales en los sistemas programables modernos, actuando como los "ojos y oídos" de estos sistemas. Permiten a los microcontroladores percibir el entorno físico y tomar decisiones basadas en información real. Esta unidad se enfoca en dos categorías esenciales: sensores ópticos y sensores de temperatura.

#### 3.1 SENSORES ÓPTICOS

##### 3.1.1 Definición y Principio de Operación

Los sensores ópticos son dispositivos que detectan, miden o convierten la luz (visible, infrarroja, ultravioleta) en señales eléctricas utilizables por sistemas electrónicos e industriales. Son los "ojos" de los sistemas programables, permitiendo la detección sin contacto físico.

##### Principio Fotoeléctrico:

El funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico: cuando fotones (luz) inciden sobre materiales semiconductores específicos (Si, Ge, GaAs), liberan electrones, generando una señal eléctrica. La energía del fotón debe ser mayor o igual que el bandgap del material.

- **Silicio (Si):**  $E_g = 1.12 \text{ eV} \rightarrow \lambda \leq 1100 \text{ nm}$
- **Germanio (Ge):**  $E_g = 0.67 \text{ eV} \rightarrow \lambda \leq 1850 \text{ nm}$
- **InGaAs:**  $E_g$  ajustable 0.35-1.4 eV

##### 3.1.2 Clasificación de Sensores Ópticos

###### A. POR TECNOLOGÍA DE DETECCIÓN

###### 1. SENSORES FOTOCONDUCTIVOS

Cambian su resistencia eléctrica con la luz:

- **Fotorresistores (LDR):** Resistencia baja con luz, alta en oscuridad. Rango: 400-700nm (luz visible). Aplicaciones: Luces automáticas, alarmas. Respuesta: Lenta (50-100ms)
- **Fotodetectores CdS/CdSe:** Sensibles al espectro visible. Rango: 450-750 nm. Aplicaciones: Exposímetros fotográficos
- **Detectores PbS/PbSe:** Infrarrojo cercano-medio. Rango: 1-5  $\mu\text{m}$ . Aplicaciones: Espectroscopía IR, termografía

### **3. SENsores de reflexión difusa (proximidad)**

**Configuración:** Emisor/Receptor COMBO → Objeto SUPERFICIE → luz dispersa

**Alcance:** Corto (mm a 2m), depende de reflectividad

**Tipos de configuración:**

- **Coaxial:** Mismo eje emisor-receptor (precisión máxima)
- **Biaxial:** Ejes paralelos cercanos
- **Aproximación:** Detección por intensidad reflejada

**Aplicaciones:** Detección de objetos cercanos, diferentes materiales

## **C. POR TIPO DE LUZ/SERIE DETECTADA**

### **1. SENsores de luz visible**

Subtipo	Característica	Sensor típico
Ambiente	Intensidad general	LDR, fotodiódos de Si
Color/RGB	Detectan componentes RGB	TCS230, TCS34725
Luz específica	Filtrada a longitud particular	Fotodiódos con filtro

### **2. SENsores de infrarrojo (IR)**

Categoría	Rango	Aplicación
IR Cercano (NIR)	750nm-1.4μm	Comunicaciones, control remoto
IR Medio (MWIR)	3-8μm	Termografía, detección de calor
IR Lejano (LWIR)	8-15μm	Visión nocturna, imágenes térmicas

### 3. SENSORES ULTRAVIOLETA (UV)

Tipo	Rango	Detector común
UVA	315-400nm	Fotodiodos de SiC, GaN
UVB	280-315nm	Para detección de quemaduras solares
UVC	100-280nm	Esterilización, detección de llamas

## D. SENSORES ÓPTICOS ESPECIALIZADOS

### 1. SENSORES DE IMAGEN (ARREGLOS)

Tecnología	Resolución	Ventajas
CCD	Alta (>10MP)	Bajo ruido, calidad imagen
CMOS	Media-Alta	Bajo consumo, integración
InGaAs	Baja-Media	Sensible a IR (0.9-1.7μm)

### 2. SENSORES DE DISTANCIA/PERFIL

Método	Principio	Precisión
Triangulación	Geometría triángulo	±0.01% FS
Time-of-Flight	Tiempo de vuelo luz	±1-10mm
Interferometría	Patrones interferencia	Nanómetros

### 3. SENSORES ESPECTRALES

- **Espectrómetros:** Intensidad por longitud de onda - Análisis químico
- **Fotómetros:** Intensidad total en banda - Astronomía
- **Colorímetros:** Coordenadas cromáticas - Control calidad

#### 4. SENSORES DE FIBRA ÓPTICA

Configuración	Característica	Uso
Intrínseco	La fibra es el sensor	Temperatura, tensión
Extrínseco	Fibra lleva luz al sensor	Espectroscopia remota
Distribuido	Sensado a lo largo de fibra	Monitoreo estructural

---

#### 3.1.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE SENSORES ÓPTICOS

##### A. CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES

###### 1. Responsividad (R)

- **Definición:**  $R(\lambda) = I_{ph} / P_{opt}$  [A/W]
- **Ejemplo:** Fotodiodo Si típico:
  - 900 nm:  $R \approx 0.5$  A/W
  - 400 nm:  $R \approx 0.3$  A/W

###### 2. Eficiencia Cuántica (QE)

- **Fórmula:**  $QE(\lambda) = (N_{electrones} / N_{fotones}) \times 100\%$
- **Relación:**  $QE(\lambda) = [R(\lambda) \cdot 1240] / \lambda [\%]$

###### 3. Curva Espectral Típica

Perfil espectral aproximado:

$\lambda_{max\_Si} = 900$  nm (Pico responsividad)

$\lambda_{corte\_Si} = 1100$  nm (Límite por bandgap)

Ancho\_banda = 300 nm (FWHM típico)

---

##### B. CARACTERÍSTICAS DE RENDIMIENTO

###### 1. Sensibilidad / Rango Dinámico

Parámetro	Definición
Umbral detección	Mín. potencia detectable
Saturación	Máx. potencia sin daño
Rango dinámico	$20 \cdot \log(P_{max}/P_{min})$

## 2. Velocidad / Tiempo de Respuesta

- Ancho de banda (BW) =  $0.35 / t_r$
- Donde  $t_r$  = tiempo subida 10%-90%

### Factores limitantes:

- Capacitancia unión ( $C_j$ )
- Resistencia serie ( $R_s$ )
- Tiempo tránsito portadores ( $t_{tr}$ )
- Constante tiempo RC:  $\tau = R \cdot C$

## 3. Ruido y Detectividad

Tipo de Ruido	Dependencia
Shot (disparo)	$\sqrt{}$ (corriente)
Johnson (térmico)	$\sqrt{}$ (temperatura)
1/f (flicker)	$1/\sqrt{}$ (frecuencia)
Ruido de fondo	Área, FOV

## C. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y AMBIENTALES

### 1. Parámetros Mecánicos/Ópticos

- Área activa:  $0.01 \text{ mm}^2 - 100 \text{ cm}^2$
- Ángulo de aceptación:  $10^\circ - 180^\circ$
- Campo de visión (FOV): Angular o lineal
- Distancia focal / Número f: Para sistemas con lentes

### 2. Especificaciones Ambientales

Parámetro	Rango industrial	Unidades
Temperatura operación	-40°C a +85°C	°C
Temperatura almacenamiento	-55°C a +125°C	°C
Humedad relativa	0-95% no condensante	%RH
IP/NEMA	IP65, IP67, IP69K	Clase
Vibración	5-2000 Hz, 10g	Hz, g

### 3. Características Eléctricas

- **Tensión inversa máxima:** 5V - 2000V
- **Corriente oscura ( $I_{dark}$ ):** 0.1 nA - 10  $\mu$ A
- **Capacitancia:** 1 pF - 1000 pF
- **Resistencia shunt:** 10 M $\Omega$  - 10 G $\Omega$

---

### D. TABLA COMPARATIVA: SENSORES ÓPTICOS COMUNES

-\$

Sensor	Rango Espectra l	Sensibilidad	Velocidad	Costo	Aplicación Principal
LDR	400-750 nm	0.5-10 k $\Omega$ /lux	50-100 ms	\$	Luces automáticas
Fotodiodo Si	190-1100 nm	0.5 A/W @ 900nm	<1 ns	\$\$	Instrumentación, comunicación
Fototransistor	400-1100 nm	100x fotodiode	1-10 $\mu$ s	\$	Interruptores ópticos
CCD	200-1100 nm	Alta QE (>70%)	1-100 fps	\$\$\$\$	Imágenes científicas
CMOS	350-1050 nm	Media QE (40-60%)	10-1000 fps	Cámaras comerciales	
InGaAs	800-2600 nm	0.9 A/W @ 1550nm	1-100 ns	\$\$\$\$	Telecomunicaciones
PMT	185-900 nm	$10^4$ - $10^7$ ganancia	<1 ns		Espectrometría

---

#### 3.1.4 MODO DE COMUNICACIÓN DE SENSORES ÓPTICOS

##### A. NIVELES DE COMUNICACIÓN

###### Nivel 1: SEÑAL ANALÓGICA DIRECTA

- **Configuración:** Sensor → Señal cruda → Sistema
- **Salida de corriente:** 0-20 mA, 4-20 mA

- **Salida de voltaje:** 0-5V, 0-10V, ±10V
- **Salida de resistencia:** LDR, termistor óptico
- **Ventaja:** Simple, bajo costo
- **Desventaja:** Sensible a ruido, distancia limitada

## Nivel 2: SEÑAL DIGITAL ON/OFF

- **Configuración:** Sensor → Comparador → Salida discreta
- **PNP/NPN:** 24V DC industrial
- **Relé:** Contactos secos
- **Push-Pull:** Para cargas específicas
- **Aplicación:** Detectores presencia, fin de carrera

## Nivel 3: BUSES DIGITALES

- **Configuración:** Sensor → Microcontrolador → Protocolo → Master
- 

## B. PROTOCOLOS DIGITALES COMUNES

### 1. COMUNICACIÓN SERIE (Point-to-Point)

Protocolo	Velocidad	Distancia	Características
RS-232	19.2 kbps	15 m	Simple, 3 cables
RS-485	10 Mbps	1200 m	Multipunto, robusto
RS-422	10 Mbps	1200 m	Punto a punto, full-duplex

### 2. BUSES INDUSTRIALES

Bus	Topología	Máx. nodos	Industria
PROFIBUS DP	Lineal/árbol	126	Automatización
DeviceNet	Tronco/ramas	64	Robótica
CAN Bus	Lineal	110	Automoción

### 3. BUSES DE CAMPO DIGITALES

- **Configuración:** Sensor inteligente → IO-Link → Master PLC

**IO-Link características:**

- **Velocidad:** 4.8/38.4/230.4 kbps
- **Cable:** 3-hilos estándar (24V, 0V, señal)
- **Ventajas:** Parametrización, diagnóstico, datos proceso
- **Aplicación:** Sensores complejos (color, distancia, presión)

#### 4. BUSES EMBEBIDOS

Protocolo	Velocidad	Características	Aplicación sensores
I <sup>2</sup> C (I2C)	100-3400 kbps	2 cables, direccionable	Sensores en placa
SPI	10-100 Mbps	4+ cables, full-duplex	Alta velocidad
UART	Asíncrono	Simple, universal	Módulos seriales

### C. COMUNICACIÓN POR ETHERNET INDUSTRIAL

#### 1. PROTOCOLOS COMUNES

#### 2. SENSORES FOTOVOLTAICOS

Generan voltaje/corriente cuando reciben luz:

- **Células Solares:** Efecto fotovoltaico en unión PN. Voltaje: 0.5-0.7V/célula. Aplicaciones: Energía renovable, instrumentación portátil
- **Fotodiodos PIN:** Capa intrínseca para mayor velocidad. Ancho de banda: Alto (GHz). Aplicaciones: Comunicaciones ópticas, instrumentación
- **Fotodiodos APD:** Multiplicación de portadores por impacto. Ganancia: 10-1000. Sensibilidad: Muy alta. Aplicaciones: Detección de baja luminosidad

#### 3. SENSORES FOTOEMISIVOS

Emiten electrones por efecto fotoeléctrico:

- **Fotomultiplicadores (PMT):** Amplificación interna  $10^4$ - $10^7$ . Aplicaciones: Espectrometría, astronomía. Ventaja: Altísima sensibilidad
- **Cátodos fotoemisivos:** Materiales con baja función de trabajo. Aplicaciones: Tubos de cámaras antiguas

#### 4. SENSORES FOTOTÉRMICOS

Detectan calentamiento del material por absorción de luz:

- **Pirómetros:** Cambio de temperatura genera señal
- **Termopilas:** Múltiples termopares en serie. Aplicaciones: Medición sin contacto

- **Bolómetros:** Cambio de resistencia por calor. Aplicaciones: Detectan desde IR lejano a microondas

## B. POR CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA/MODO OPERATIVO

### 1. SENSORES DE BARRERA (THROUGH-BEAM)

- **Configuración:** Emisor LED/LÁSER → luz → Receptor FOTODETECTOR separados
- **Alcance:** Hasta 100m
- **Ventaja:** Mayor alcance, inmunidad a reflectividad del objeto
- **Desventaja:** Alineación crítica, dos dispositivos separados
- **Aplicaciones:** Conteo de objetos grandes, seguridad perimetral

### 2. SENSORES RETRORREFLEXIVOS

- **Configuración:** Emisor/Receptor COMBO → luz → Prisma CÚBICO → luz reflejada
- **Alcance:** 5-20m típicamente
- **Reflector:** Prisma de esquina cúbica (retorna luz en misma dirección)
- **Ventaja:** Fácil alineación, solo un lado activo
- **Aplicaciones:** Puertas automáticas, detectores de presencia

## 3.2 SENsoRES DE TEMPERATURA

### 3.2.1 Tipos de Sensores de Temperatura

#### SENsoRES DIGITALES:

- **DS18B20:** Sensor digital 1-Wire, resolución 9-12 bits
- **DHT22/DHT11:** Sensores digitales de temperatura y humedad
- **LM75:** Sensor digital I2C con termistato programable
- **MAX31855:** Termopar digital con compensación de unión fría

#### SENsoRES ANALÓGICOS:

- **LM35:** Salida lineal 10mV/°C, rango -55°C a 150°C
- **TMP36:** Similar al LM35 pero con diferente rango
- **Termistor NTC/PTC:** Resistencia variable con temperatura
- **Termopares (Tipo K, J, T):** Para altas temperaturas

#### SENsoRES INFRARROJOS (SIN CONTACTO):

- **MLX90614:** Sensor IR con salida I2C/PWM
- **TMP006:** Sensor IR con interfaz I2C

## 4. TRADUCCIÓN Y RESUMEN: LECHNER (1973)

### "Efectos de Estructura de Banda en Fotoconductividad de CdS Acoplado al Aire"

#### INFORMACIÓN DEL DOCUMENTO

**Título Original:** Band Structure Effects on the Photoconductivity of CdS Coupled to Air

**Autor:** D. Lechner

**Institución:** Institut für Angewandte und Technische Physik, Technische Universität Wien, Austria

**Publicación:** Applied Physics, Volumen 1, Páginas 101-108, Año 1973

#### RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo de investigación pionero de 1973 examina cómo la estructura de bandas electrónicas del sulfuro de cadmio (CdS) afecta sus propiedades fotoconductivas cuando está expuesto al aire. El estudio es particularmente relevante para comprender el comportamiento de sensores ópticos basados en materiales semiconductores.

#### CONTEXTO HISTÓRICO Y RELEVANCIA

En la década de 1970, el CdS era uno de los materiales fotoconductores más utilizados en sensores ópticos, fotorresistores (LDR) y dispositivos de detección de luz. Este estudio fue fundamental para:

1. **Entender el envejecimiento de sensores:** Por qué los fotorresistores de CdS cambian sus características con el tiempo
2. **Mejorar la estabilidad:** Desarrollar métodos para proteger estos dispositivos
3. **Optimizar el rendimiento:** Comprender los mecanismos físicos subyacentes

#### HALLAZGOS PRINCIPALES DEL ESTUDIO

##### A. EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN AL AIRE

Lechner descubrió que el CdS expuesto al aire sufre cambios significativos:

4. **Adsorción de oxígeno en la superficie:** Las moléculas de O<sub>2</sub> se adhieren a la superficie del CdS y actúan como "trampas" para electrones fotogenerados. Consecuencia: Reducción de la photocorriente inicial.
5. **Formación de estados superficiales:** El oxígeno crea nuevos niveles de energía en el bandgap. Estos estados atrapan portadores de carga. Resultado: Tiempo de respuesta más lento.

6. **Oxidación superficial:** Con el tiempo, se forma una capa de CdO (óxido de cadmio). Esta capa tiene propiedades eléctricas diferentes. Efecto: Deriva a largo plazo de las características del sensor.

## CONCLUSIONES DEL ESTUDIO ORIGINAL

**Lechner concluyó que:**

7. La estructura de bandas del CdS es altamente sensible a efectos superficiales, particularmente la adsorción de oxígeno del aire.
8. Los estados superficiales inducidos por oxígeno actúan como centros de recombinación, reduciendo el tiempo de vida efectivo de los portadores fotogenerados.
9. La fotoconductividad del CdS no puede entenderse completamente sin considerar la interfaz material-ambiente, lo que tiene implicaciones para el diseño de dispositivos.
10. Es posible modelar cuantitativamente estos efectos, proporcionando herramientas predictivas para ingenieros de sensores.

## 5. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

11. **Lechner, D. (1973).** "Band Structure Effects on the Photoconductivity of CdS Coupled to Air." *Applied Physics*, 1, 101-108. Springer-Verlag.
12. **Documentos de la Unidad 1:** "UNIDAD1SPSENSORESOPTICO-1.pdf" - Sensores Ópticos (Tecnológico Nacional de México)
13. "Sensores\_de\_TemperaturaSPteoria1\_1\_290126jueves\_\_2\_-1.pdf" - Sensores de Temperatura (Tecnológico Nacional de México)

### Referencias adicionales sugeridas:

- Sze, S. M., & Ng, K. K. (2006). Physics of Semiconductor Devices. Wiley.
- Fraden, J. (2016). Handbook of Modern Sensors. Springer.
- Horowitz, P., & Hill, W. (2015). The Art of Electronics. Cambridge University Press.

\*\*\* FIN DEL DOCUMENTO \*\*\*

Fecha de compilación: Febrero 2026  
Institución: Tecnológico Nacional de México - Instituto  
Tecnológico de Oaxaca  
Asignatura: Sistemas Programables