Fotomultiplicadores de Silicio (MPPC/SiPM)

Integrantes:
Omar Cheuquepan
Joaquin Saldaño
Antonia Salgado

Índice

1. **Motivación, 3**
2. **Definiciones, 4**
   - *2.1. Fotoelectrón, 5*
   - *2.2. Proceso de ganancia, 6*
   - *2.3. Single Photoelectron, 7*
   - *2.4. Crosstalk, 8*
   - *2.5. Afterpulse, 9*
3. **Modelos propuestos, 10**
   - *3.1. Modelo S13360-2050VE, 11*
     - *3.1.1. Electrónica, 11*
     - *3.1.2. Eficiencia, 12*
     - *3.1.3. Ganancia, 13*
   - *3.2. Modelo S13360-3050PE, 14*
     - *3.2.1. Electrónica, 14*
     - *3.2.2. Eficiencia, 15*
     - *3.2.3. Ganancia, 16*
   - *3.3. Modelo S14160-3050HS, 17*
     - *3.3.1. Electrónica, 17*
     - *3.3.2. Eficiencia, 18*
     - *3.3.3. Ganancia, 19*
4. **Setup utilizado, 20-26**

Importancia de los MPPC

Los MPPC/SiPM son de suma importancia en el campo de la electrónica debido a los usos que se les puede dar. Estos poseen muchas características, entre ellas, las más destacables son: la alta sensibilidad a la luz (especialmente en el rango de fotones individuales), el alcance de las longitudes de onda (ya que permite medir ondas electromagnéticas), su tamaño compacto y relativamente bajo costo.

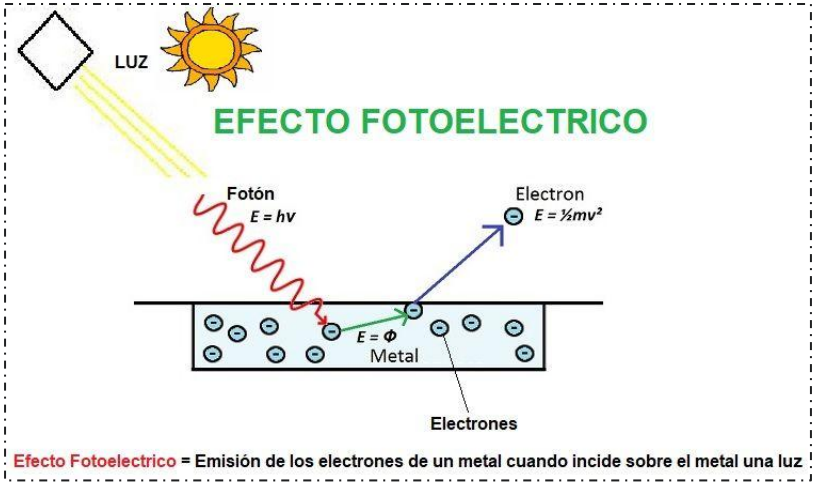
Algunos otros ejemplos de aplicaciones incluyen detección de riesgos y amenazas (detección de radiactividad), LiDAR (detección y medición de luz), y rango en 3D, física de partículas, medicina nuclear, PET (tomografía por emisión de positrones), computación cuántica, entre otros.

Definiciones

- ¿Qué es el *fotoelectrón*?
- ¿Cuál es el proceso de *ganancia*?
- ¿Qué es el *Single Photoelectron?*
- ¿Qué es el *Crosstalk*?
- ¿Qué es el *After pulse*?

¿Qué es el fotoelectrón?

Son electrones producidos cuando un fotón choca con una molécula determinada, este proceso se conoce como efecto fotoeléctrico.



¿Cuál es el proceso de ganancia?

El proceso de la ganancia comienza desde que un electrón inicial es liberado por un fotón al momento que este incide en el detector. Este electrón se dirige hacia los cátodos en el fotomultiplicador, y en el camino choca con átomos cercanos, lo que provoca que se liberen electrones adicionales. Estos repetirán el ciclo, en un proceso llamado “avalancha”, y este es el que genera el crecimiento exponencial en el número de electrones.

Es por este motivo el porqué la corriente eléctrica resultante es significativamente más alta que en la incidencia inicial.

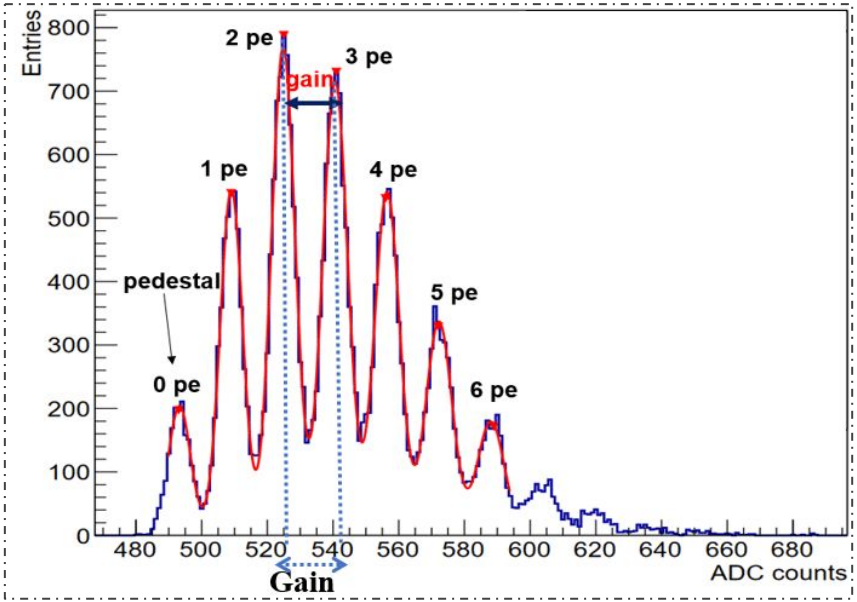
De esta forma, la ganancia es el factor por el cual se ha amplificado la señal original. Esta relaciona la cantidad total de electrones al final y el número inicial de electrones generados por el primer electrón.

$$\boxed{G = \frac{Q_{\text{cell}}}{e} = \frac{C_{\text{cell}}\Delta V}{e}}$$

over-voltage $\Delta V = V_{\text{bias}} - V_{\text{bd}}$

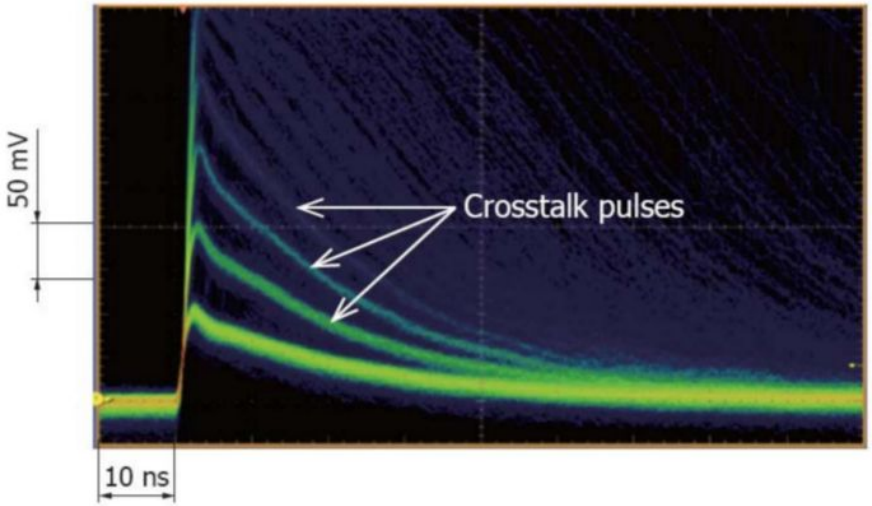
Single Photoelectron

Es un solo fotoelectrón que es absorbido por los píxeles (celdas). Es uno por píxel, y si llegan más se provocan interferencia y fallos en los resultados.



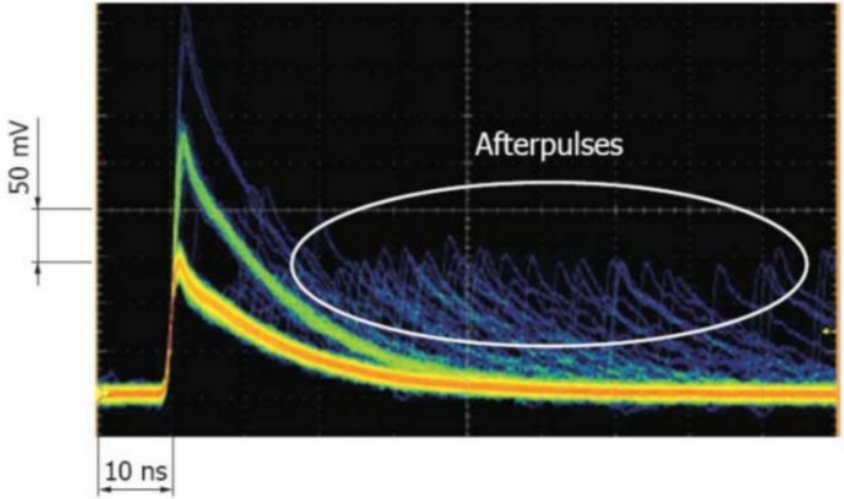
Crosstalk

Se define ‘Crosstalk’ como la interferencia entre las celdas del fotomultiplicador. Esta interferencia se produce debido a la avalancha producida por la activación de una celda, lo que produce una señal en celdas vecinas.



Afterpulse

El ‘after pulse’ se conoce como las señales tardías luego de una señal inicial. Son causadas por impurezas que atrapan a los productores de avalanchas, lo que provoca otra avalancha más tarde. Si el after pulse sucede durante o después del tiempo de recuperación del SiPM entonces su amplitud será menor o mayor respectivamente logrando llegar a un fotoelectrón.

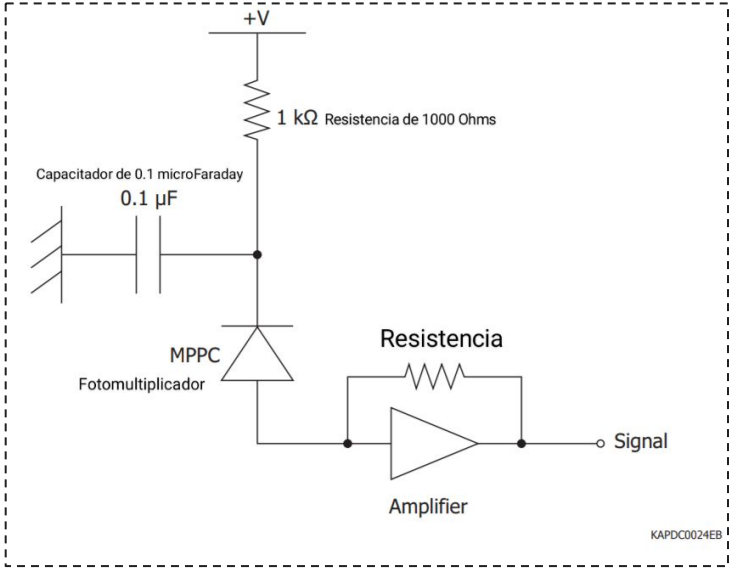


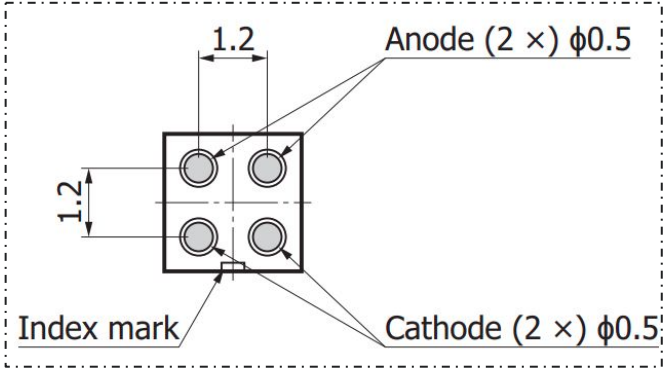
Preguntas para cada modelo

- ¿Existe una electrónica propuesta por el fabricante? ¿Cómo se
- conectan estos dispositivos?
- ¿Cuál es su eficiencia? ¿De qué depende?
- ¿Cuál es su ganancia?

Modelo S13360-2050VE

Los gráficos siguientes corresponden al MPPC S13360-2050VE con un pixel pitch de 50μm y área fotosensible efectiva de 2.0 × 2.0 mm².



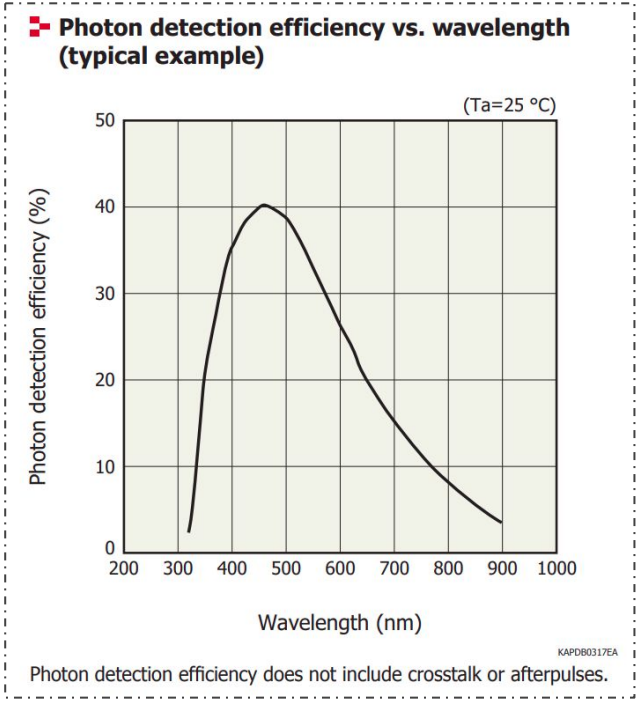


Eficiencia

La eficiencia de detección de fotones puede variar en porcentaje de acuerdo a la longitud de onda incidente, como se muestra en la figura.

Además de depender de la longitud de onda, también depende del *overvoltage* y la *temperatura*.

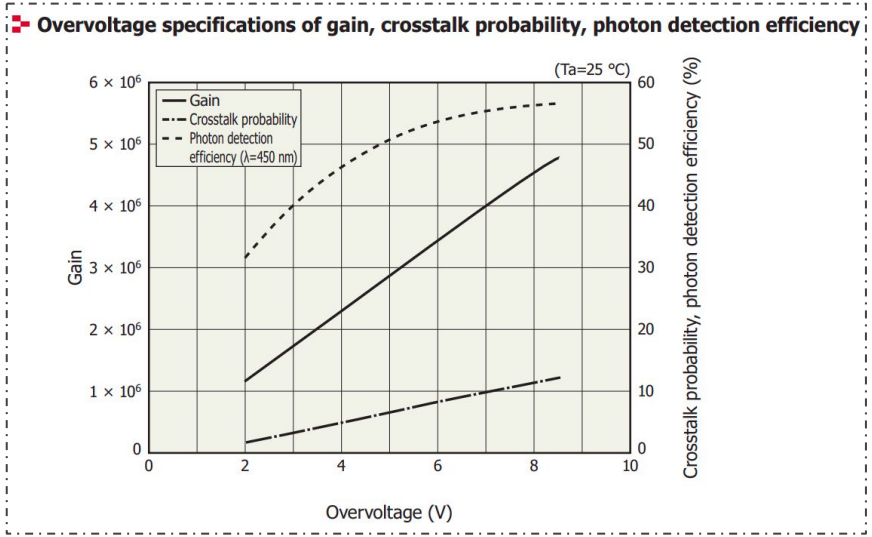
$$PDE = \epsilon_{FF} \cdot QE \cdot \epsilon_{trg}$$



Ganancia

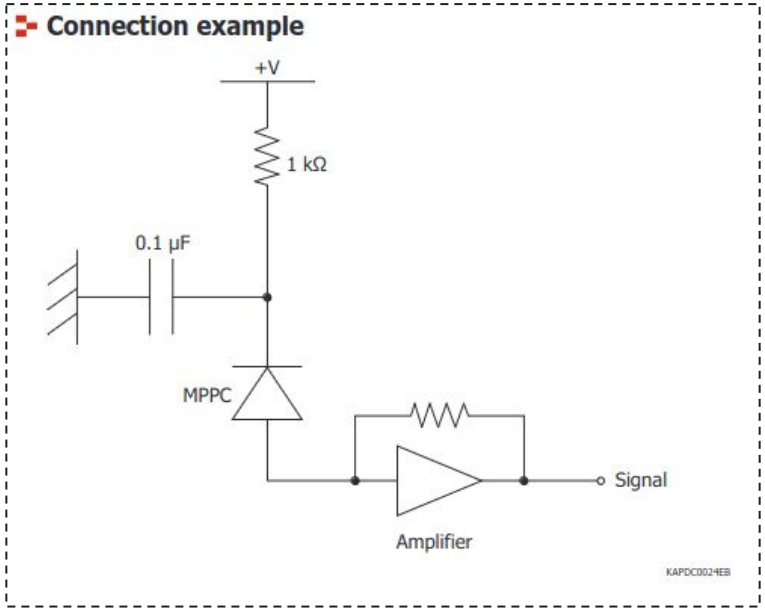
Asimismo, la ganancia tiene una dependencia con el *overvoltage* y la eficiencia, además de la probabilidad de *crosstalk*, como se aprecia en la figura.

Para este modelo, su ganancia es de 1.7×10^6 .



Modelo S13360-3050PE

Los fotosensores corresponden al MPPC S 13360-3050PE con un pixel pitch de 50μm y área fotosensible efectiva de 3.0 x 3.0 mm.

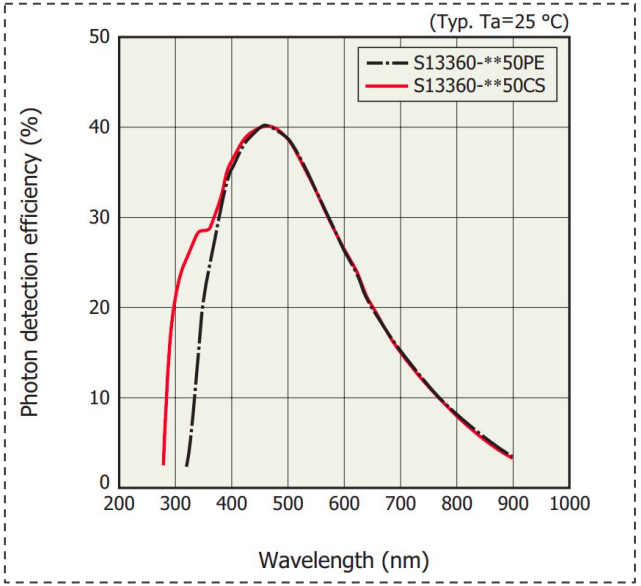


Eficiencia

Se muestran los gráficos de eficiencia para el modelo mencionado.

La línea de color negro es la del modelo que nos interesa, la roja indica las mediciones de otro modelo de MPPC de la misma serie para hacer una comparación.

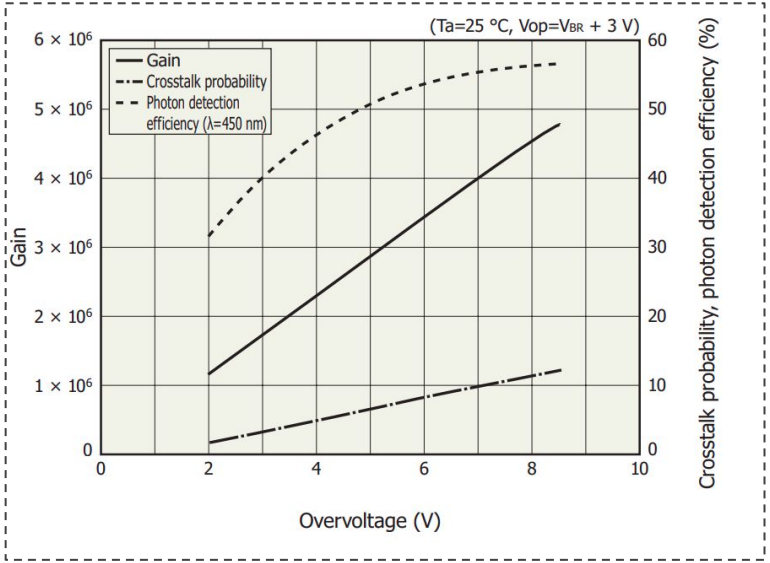
Photon detection efficiency vs. wavelength (typical example)



Ganancia

Se muestra el gráfico que relaciona la ganancia y otros aspectos más.

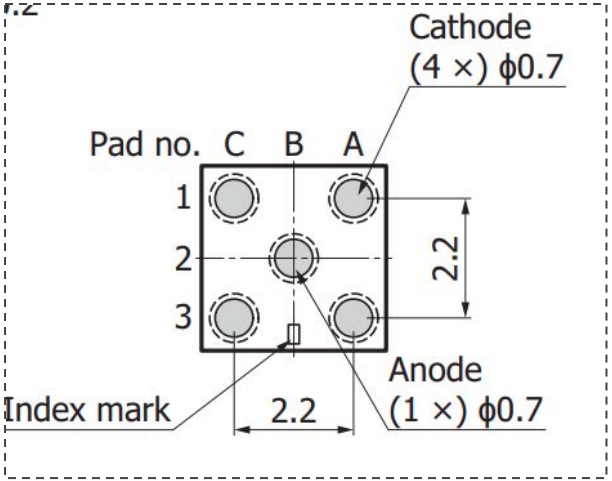
En el caso de este modelo, su ganancia es de 1.7×10^{6} .



Modelo S14160-3050HS

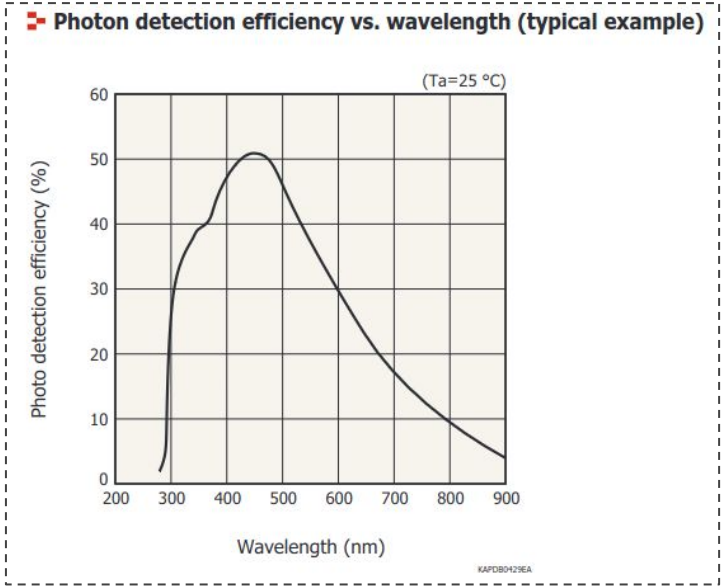
Este modelo en particular no posee un esquema de electrónica propuesto por el fabricante, solo la configuración del dispositivo, sin embargo si posee datos de eficiencia y ganancia.

Los gráficos proporcionados corresponden al MPPC S14160-3050HS con un pixel pitch de 50 µm y área fotosensible efectiva de 3.0 x 3.0 mm .



Eficiencia

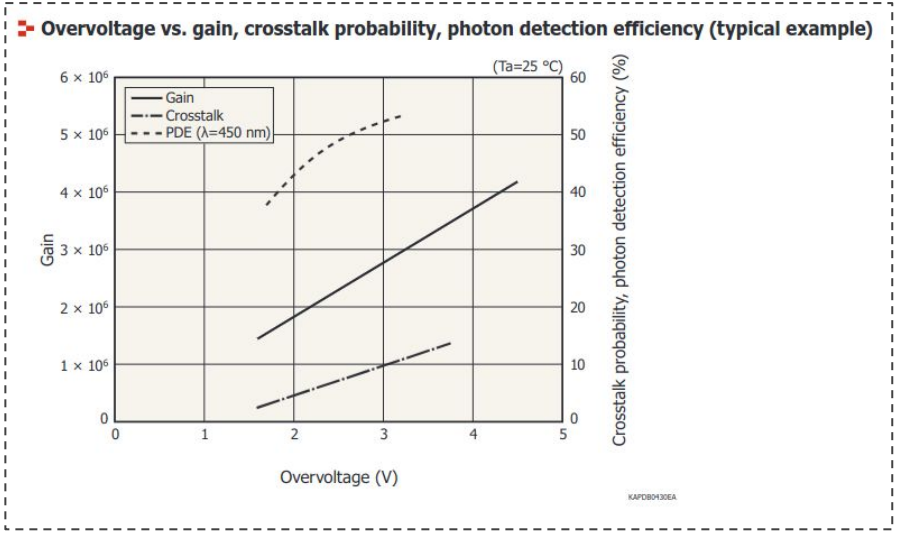
Se muestra el gráfico de eficiencia para el modelo mencionado.



Ganancia

Se muestra el gráfico de ganancia para este modelo.

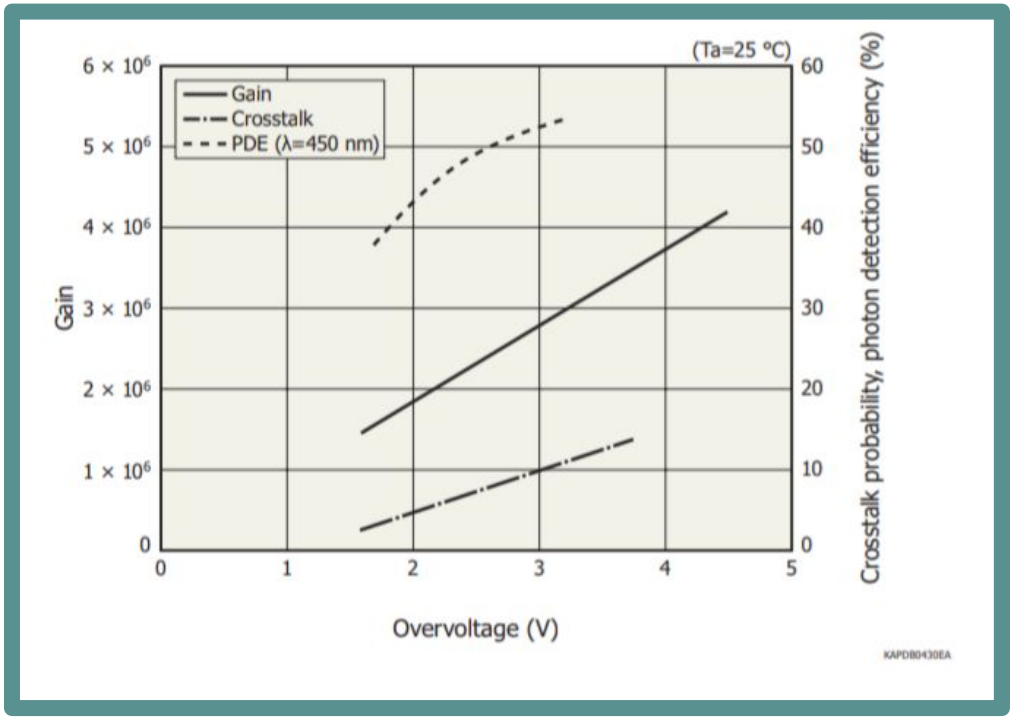
El valor de la ganancia es de 2.5×10^6



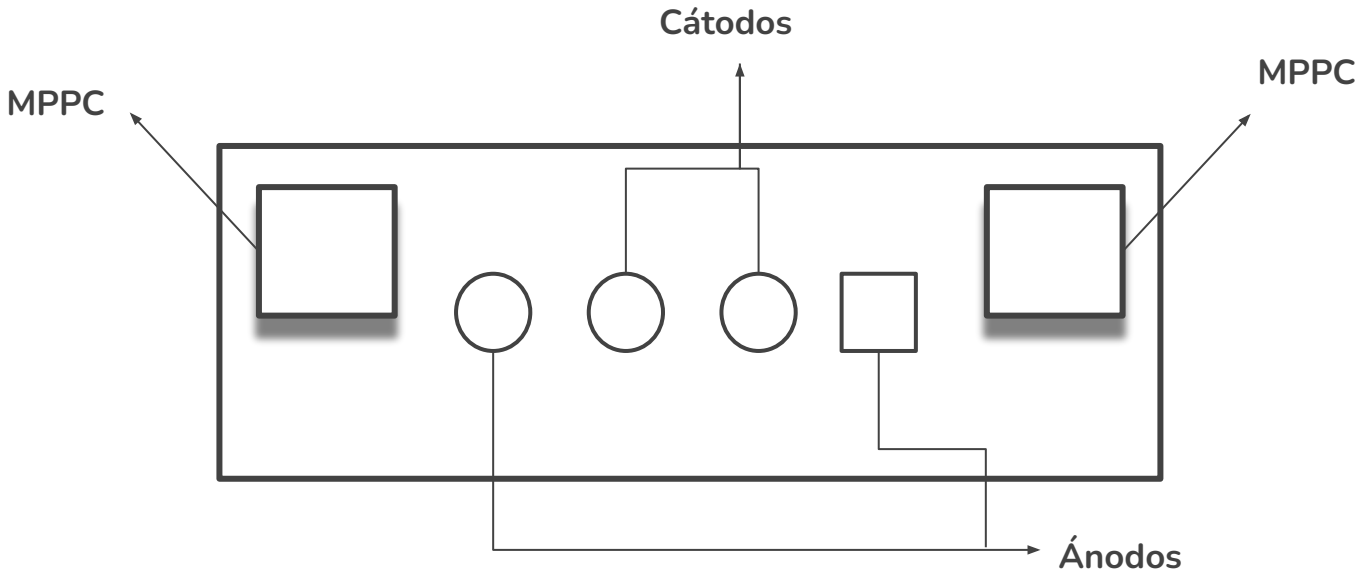
Trabajo realizado en el laboratorio

- Medir el voltaje de 6 sets de MPPC’s en la luz.
- Medir el voltaje de 6 sets de MPPC’s en la oscuridad.

¿Cuál es su ganancia?



Setup utilizado



MPPC modelo S13360-2050(VE) fotomultiplicador de Silicio

Setup utilizado

Datos recopilados

- Tabla 1
- Tabla 2
- Tabla 3

Tabla 1

N. Serie MPPC	Voltaje con luz	Voltaje sin luz	Estado	Comentarios
16 izq	444.9 mV	196.3 mV	Aceptable	Tapado sólo con goma eva.
16 der	444.9 mV	88.9 mV	Aceptable	Tapado sólo con goma eva.
9 izq	441.8 mV	9.1 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
9 der	438.5 mV	195.9 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
5 izq	435.4 mV	57.5 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
5 der	435.3 mV	16.1 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
40 izq	452.7 mV	88.9 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
40 der	457.7 mV	53.4 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
43 izq	458.3 mV	33.6 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
43 der	440.3 mV	22.3 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
39 izq	450.0 mV	18.9 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
39 der	449.1 mV	20.0 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.

Tabla 2

N. Serie MPPC	Voltaje con luz	Voltaje sin luz	Estado	Comentarios
12 izq	452 mV	20 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo
12 der	452 mV	20 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo
14 izq	462 mV	16 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
14 der	462 mV	20 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
15 izq	452 mV	16 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
15 der	454 mV	20 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
124 izq	470 mV	16 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
124 der	470 mV	20 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
121 izq	450 mV	16 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
121 der	450 mV	12 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
118 izq	460 mV	16 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
118 der	460 mV	20 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.

Tabla 3

N. Serie MPPC	Voltaje con luz	Voltaje sin luz	Estado	Comentarios
123 der	455.1 mV	384.6 mV	Aceptable	Tapado con goma eva
123 izq	451.2 mV	26.5 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo
122 der	459.1 mV	12.4 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
122 izq	454.1 mV	10.7 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
115 der	456.1 mV	8.1 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
115 izq	450.5 mV	1.4 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
10 der	430.0 mV	141.3 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
10 izq	422.2 mV	136.0 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
13 der	424.1 mV	14.4 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
13 izq	425.8 mV	24.0 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
11 der	427.7 mV	57.0 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.
11 izq	423.6 mV	55.6 mV	Aceptable	Tapado con goma eva + dedo.