

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1 Resultados de las pruebas

4.1.1 Continuidad en las fibras

Los siguientes resultados corresponden a los primeros cilindros de concreto. Se verificó el número total de fibras que resistieron al proceso de vertido y solidificación del concreto y por lo tanto presentan un mejor desempeño en estructuras de concreto.

Tabla 4.1 Resultados de continuidad

	CILINDRO CON PROTECCIÓN	CILINDRO SIN PROTECCIÓN	
1. FG-200 UCR	Transmite	Transmite	 Fibras perdidas (Rotas)
2. FG-200 LCR	Transmite	Transmite	
3. SMF-128	Transmite	Transmite	
4. GFIB	Sin transmisión	----	
5. FG-365 LER	Transmite	Transmite	
6. FT-200 URT	----	Transmisión tenue	
7. FT-400 URT	Transmite	Transmite	
8. AFS 50/125	Transmite	Transmisión tenue	
9. AFS 105/125	Transmite	Transmite	
10. Fibra Azul	Sin transmisión	Sin transmisión	

De la tabla 4.1 podemos observar que los tubos empleados sirven en cuanto a la protección, sin embargo, para estos cilindros la técnica no fue 100% efectiva ya que dos fibras se perdieron y no fue posible medir su transmisión. Es importante remarcar que las fibras con mayor diámetro FT o FG son más resistentes y conservan sus propiedades de transmisión completamente. De acuerdo a los resultados obtenidos, para los siguientes experimentos se utilizarán fibras FG-200-LCR, FT-200-URT y FT-400-URT debido a sus características físicas y propiedades resistivas ante el concreto.

Resultados experimentales

4.1.2 Compresión de las muestras

1er Prueba. Cilindro sin fibras

En ésta prueba se sometió a compresión un cilindro de concreto sin fibras ópticas, el fin de la prueba es determinar la fuerza de compresión o esfuerzo del mismo y después, en la segunda prueba con un cilindro similar comparar los resultados.

Tabla 4.2 Datos del cilindro sin fibras

Altura [cm]	Diámetro [cm]	Área [cm ²]	Carga Axial [Kgf]	Esfuerzo o Strain [Kgf/cm ²]	Modulo de elasticidad E _c [Kgf/cm ²]
25.5	7.5	44.17	6850	155.08	18.68x10 ⁴



a) Antes de la prueba



b) Carga máxima (falla de ruptura)

Figura 4.1 Cilindro sin fibras sometido a prueba de compresión

Como se observa en la figura 4.1, conforme aumentaba la fuerza de compresión aparecieron dos grietas axiales que convergen en la base del cilindro.

Resultados experimentales

Se observa en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y/o deficiencia del material de cabeceo: También por concavidad del plato de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga. Con base en la norma Norma C39-C39M, AST internacional.

2da prueba. Cilindro con fibras

Para la segunda prueba se utilizó otro cilindro con las mismas dimensiones pero con fibras introducidas. Las fibras ópticas utilizadas fueron 400- URT en un arreglo de nueve fibras protegidas con tubos de plástico.

Altura [cm]	Diámetro [cm]	Área [cm ²]	Carga Axial [Kgf]	Esfuerzo o Strain [Kgf/cm ²]	Modulo de elasticidad E _c [Kgf/cm ²]
25.5	7.5	44.17	2600	58.86	11.51x10 ⁴

Tabla 4.3 Datos del cilindro con fibras

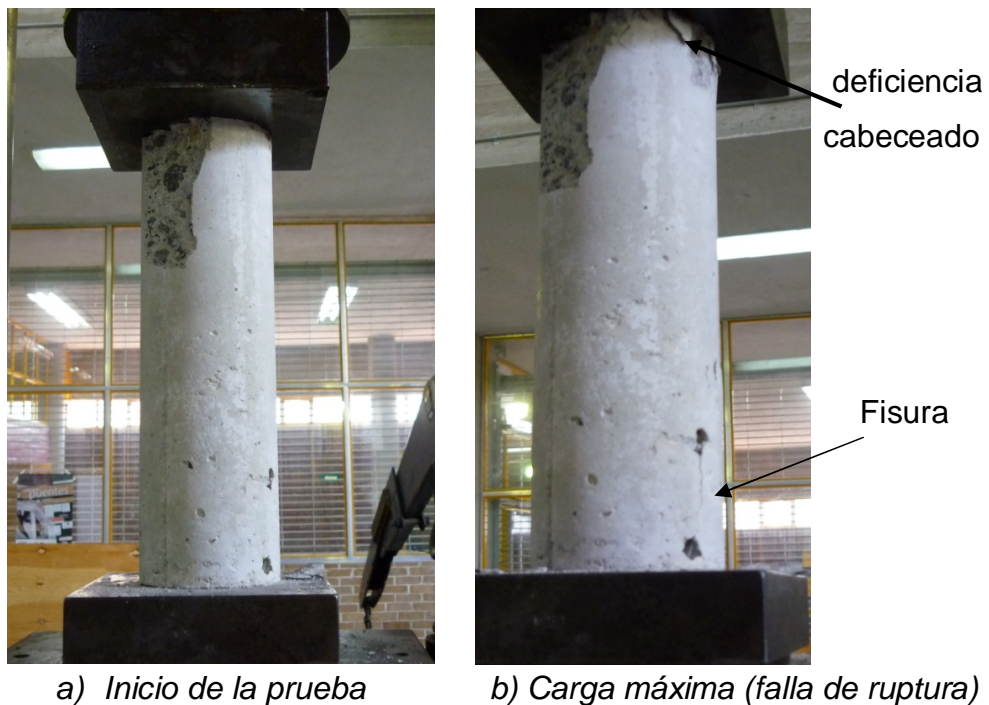


Figura 4.2 Cilindros con fibras sometido a prueba de compresión

Resultados experimentales

Al iniciar la prueba se observó que a los 400 [N] un trozo del cilindro se desprendió en la parte superior, según los tipos de fallos de la norma C-39, C-39M el fallo fue debido al mal asentamiento que tiene la cara del cilindro con la plataforma de la máquina de compresión.

Durante la prueba se observaron diferentes eventos, a los 2600 [Kgf] la manecilla de la maquina regresó, después volvió a incrementar y a los 5850 [Kgf] bajo nuevamente, a los 6600 [Kgf] tuvo el mismo comportamiento. La carga máxima aplicada fue de 7100 [Kgf].

En esta prueba solo aprecio una pequeña fisura de forma axial.

Resultados experimentales

4.1.3 Respuesta en frecuencia del fotorreceptor

Uno de los experimentos para poder observar la respuesta en frecuencia del amplificador así como su ancho de banda se muestra en la figura 4.3.

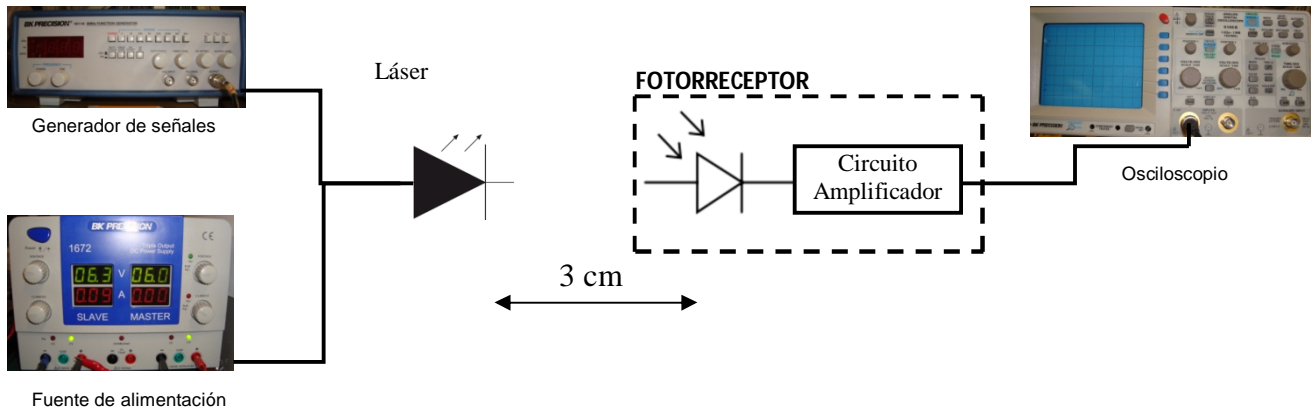


Figura 4.3 Diagrama de conexiones

Para éste experimento se conectó el generador de señales y la fuente de alimentación en el adaptador BNC-hembra del diodo láser. Se polarizó el láser con un voltaje de 6 [V] de CD y una señal cuadrada moduladora de 1 [kHz] y 4.39 [Vpp] (el voltaje mínimo necesario para su funcionamiento) figura 4.4.

La modulación del láser servirá para conocer el ancho de banda a la que el fotorreceptor trabaja linealmente. La modulación se realizó con el generador de señales y comenzó en intervalos de 10 [kHz].

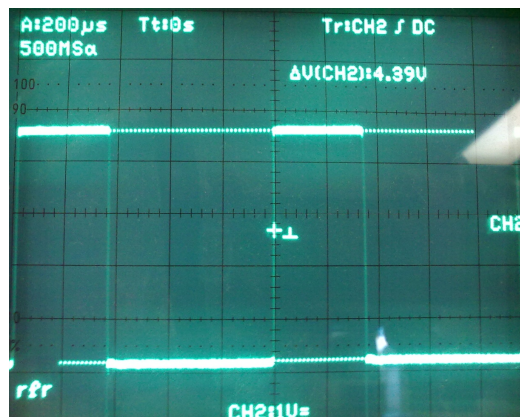


Figura 4.4 Señal moduladora

Resultados experimentales

Para este experimento la intensidad de la señal cuadrada permanecerá constante para mantener una referencia mientras que su frecuencia variará de forma periódica.

En la tabla 4.4 se observa la relación entre frecuencia de la señal moduladora y el voltaje en la salida del amplificador.

Tabla 4.4 Relación Frecuencia vs V_o Amplificador

Frecuencia [kHz]	Voltaje salida amplificador [V]
1	3.59 → V_o
10	3.39
20	3.05
30	2.94
40	2.75
50	2.68
60	2.57 → $0.7071 V_o$
70	2.49
80	2.41
90	2.39
100	2.31
150	2.31
200	2.28
250	2.20
300	2.05

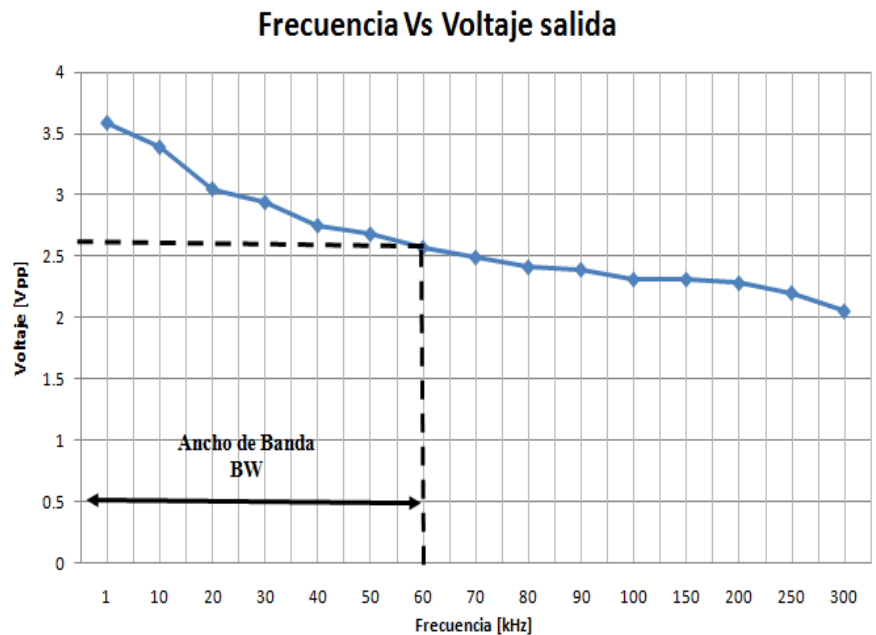


Figura 4.5 Grafica entre frecuencia vs V_o Amplificador

De acuerdo a la tabla 4.4 el ancho de banda de funcionamiento es de 60 [kHz]

En la figura 4.6 se observa la distorsión de la señal de salida del amplificador a diferentes frecuencias, la amplitud y ancho del pulso comienzan a reducirse y se presentan zonas de relajamiento en el flanco de bajada.

Resultados experimentales

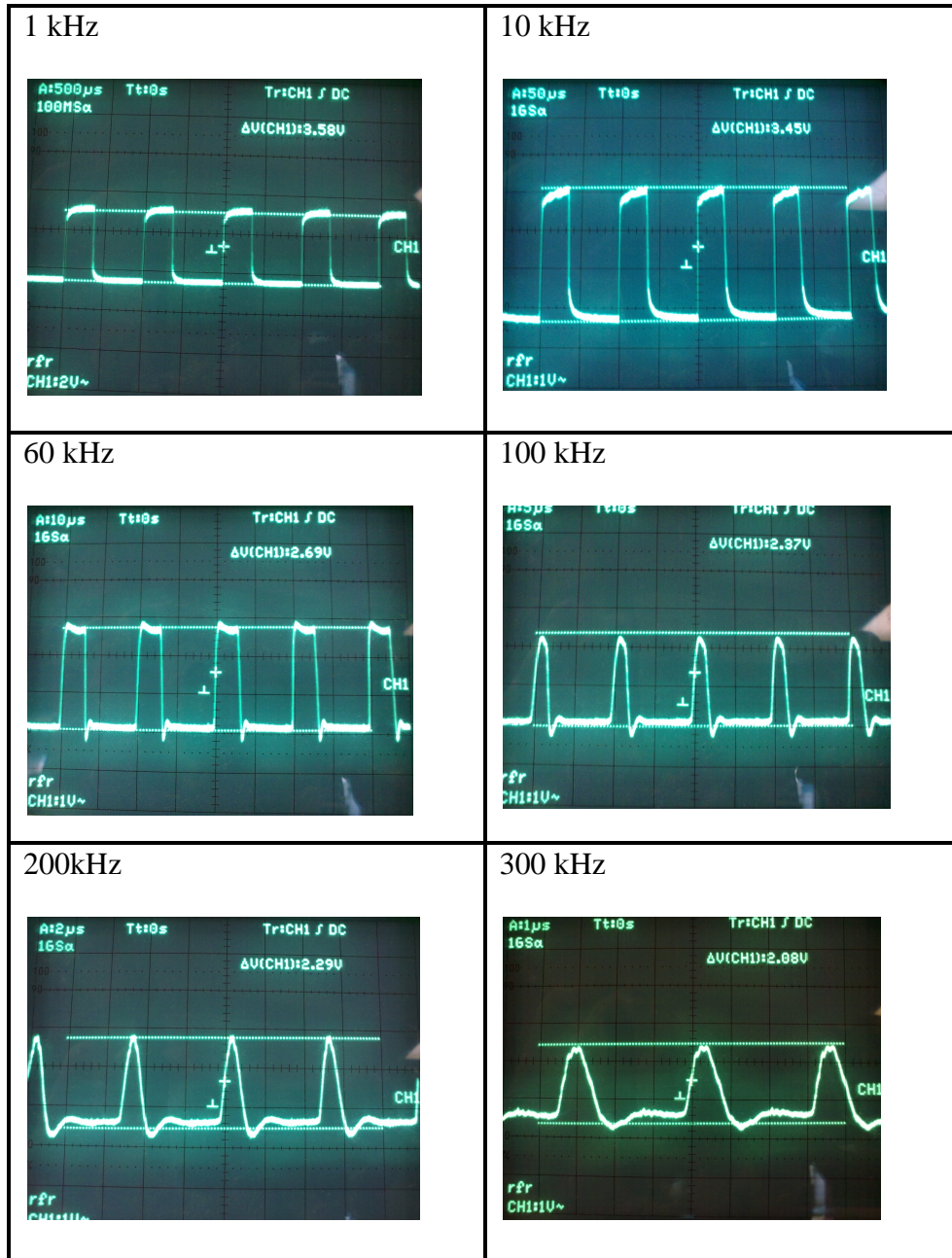


Figura 4.6 Distorsión de la señal

4.2 Caracterización del Fotodiodo de silicio ФД-263

En esta sección se caracterizará al fotodiodo tanto en responsividad y eficiencia cuántica en el intervalo de funcionamiento con el fin de tener una mayor precisión en cuanto a sus parámetros.

4.2.1 Coeficiente de absorción α

De acuerdo a la tabla 3.2 se menciona la respuesta espectral y responsividad del fotodiodo a 550 [nm]. A partir de estos datos proporcionados por el fabricante calcularemos los correspondientes para cada longitud de onda abarcando, por supuesto, la longitud de onda del diodo laser de prueba (COHERENT 670 nm).

Como se mencionó en la sección 3.1.6, la responsividad es un parámetro que depende de la eficiencia cuántica, *i.e.* $R = f(\eta)$. La eficiencia cuántica, a su vez, depende del coeficiente de absorción del material con que fue construido el fotodetector (silicio), *i.e.* $\eta = f(\alpha)$. Como el coeficiente varía para cada longitud de onda, lo primero que se necesita es calcularlo para el intervalo de funcionamiento (0.4 – 1.1 μm) con ayuda de la expresión 3.2.

De la expresión 3.2 encontramos que el tiempo de recombinación radiante τ_r es desconocido sin embargo, al tratarse de un valor constante, lo podemos calcular utilizando el coeficiente de absorción a 550 nm de la grafica mostrada en el apéndice CB. Despejando τ_r de la ecuación 3.2 y tomando el valor de $\alpha = 7500$ [cm^{-1}]. [2]

$$\tau_r = \frac{\sqrt{2}c^2 m_r^{3/2}}{\alpha(\nu)} \frac{1}{(h\nu)^2} (h\nu - E_g)^{1/2} \quad (4.1)$$

En donde:

$$m_r = 0.1988 m_0$$

$$m_0 = 9.1 \times 10^{-31} \text{ [Kg]}$$

Resultados experimentales

$E_g(\text{Si}) = 1.776 \times 10^{-19} \text{ [J]}$ de acuerdo a la tabla 4.7

$\alpha = 7500 \text{ [cm}^{-1}\text{]}$

$h\nu = hc/\lambda = 3.61418 \times 10^{-19} \text{ [J]}$

El tiempo de recombinación calculado es $\tau_r = 43.084 \text{ [ns]}$. Una vez calculado el tiempo es posible calcular el coeficiente de absorción α en todo el intervalo de operación del fotodiodo.

Tabla 4.5 Valores del coeficiente de absorción en función de la longitud de onda

Longitud de onda $\lambda[\mu\text{m}]$	Coefficiente de absorción $\alpha \text{ [cm}^{-1}\text{]}$
0.40	5207.5059
0.50	6751.712
0.55	7467.4912
0.60	8125.284
0.67	8916.2194
0.70	9197.1987
0.80	9799.99
0.90	9680.2538
1.00	8337.0621
1.10	3733.2052

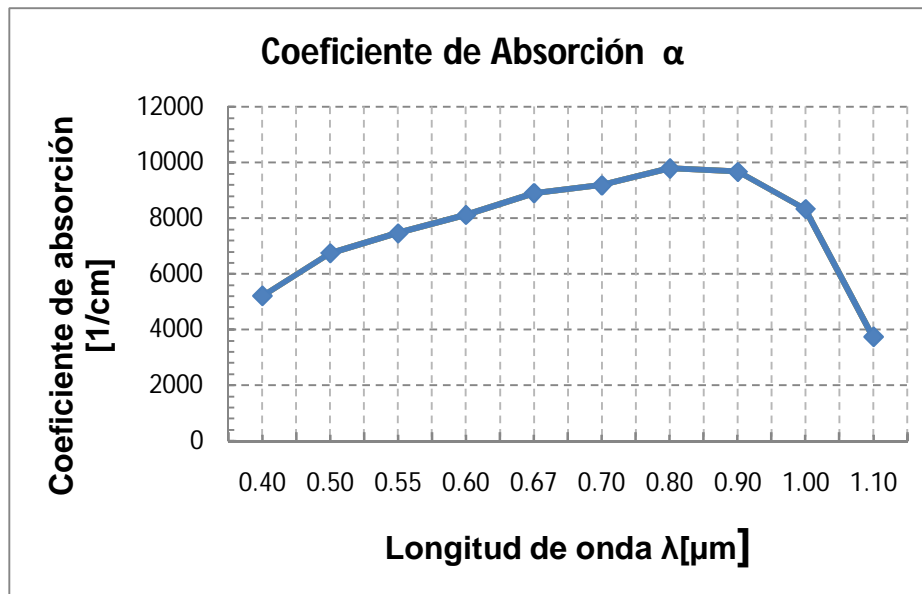


Figura 4.7 Coeficiente de absorción del fotodiodo $\Phi\text{D-263}$

Resultados experimentales

4.2.2 Eficiencia cuántica η

Una vez obtenidos los valores de α es posible calcular la eficiencia cuántica y responsividad a partir de las ecuaciones 3.5 y 3.7. Sin embargo, la ecuación 3.5 depende de la profundidad del detector d . Para encontrar éste valor despejamos d de 3.5 y sustituimos los valores de eficiencia cuántica y coeficiente de absorción para 550 [nm]. La eficiencia para 550 [nm] se calcula a partir de la ecuación 3.7 y $R[A/W]= 0.15$ (según fabricante).

El valor de la reflectividad R se calcula a partir de la ecuación 3.10 y cuyos valores de los parámetros son: $n_1=1$, $n_2(\text{SiO}_2)=1.46$ y $n_3(\text{Si})= 3.45$.

$$d = \frac{1}{-\alpha} \ln \left(1 - \frac{\eta}{(1-R)} \right) \quad (4.2)$$

Quedando los siguientes valores para 550 [nm]:

$$\alpha = 7467.4912 \text{ [cm}^{-1}\text{]}$$

$$\eta_{550 \text{ nm}} = 0.338181$$

$$R = 0.0557926$$

Así, la profundidad d de la placa es $d = 59.381 \text{ [}\mu\text{m]}$. Con éste valor se puede calcular la eficiencia cuántica y responsividad para el intervalo espectral del fotodiodo.

Tabla 4.6 Valores de la eficiencia cuántica en función de la longitud de onda

Longitud de onda $\lambda[\mu\text{m}]$	Eficiencia Cuántica η
0.40	0.25
0.50	0.31
0.55	0.33
0.60	0.36
0.67	0.38
0.70	0.39
0.80	0.41
0.90	0.41
1.00	0.36
1.10	0.18

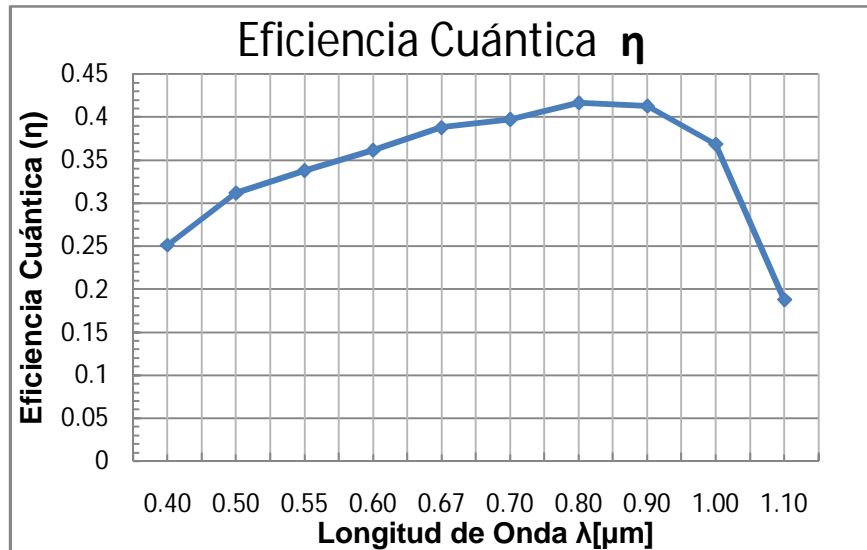


Figura 4.8 Eficiencia Cuántica del fotodiodo $\Phi\text{D-263}$

4.2.3 Responsividad R

Tabla 4.7 Valores de Responsividad en función de la longitud de onda

Longitud de onda $\lambda[\mu\text{m}]$	Responsividad R [A/Watt]
0.40	0.08
0.50	0.12
0.55	0.15
0.60	0.17
0.67	0.21
0.70	0.22
0.80	0.26
0.90	0.30
1.00	0.30
1.10	0.16

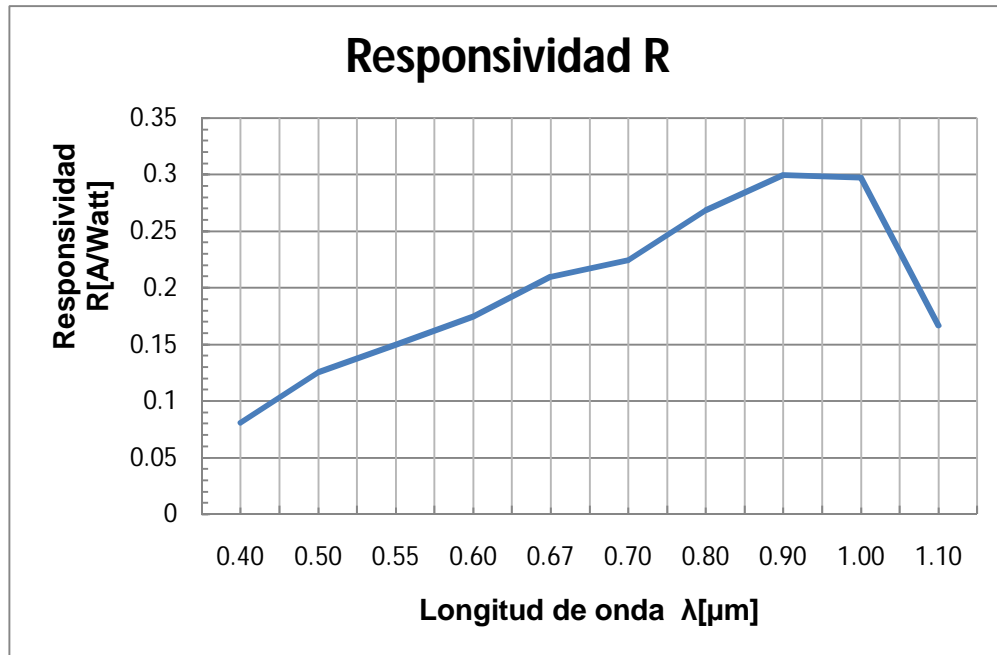


Figura 4.9 Responsividad del fotodiodo $\Phi\text{Д-263}$

4.3 Análisis y discusión de los resultados

La técnica de protecciones de las fibras durante el vertido de concreto demuestra gran eficacia y buen funcionamiento. Las fibras más vulnerables a las masas de concreto y a sus agentes corrosivos son las fibras de menor tamaño.

En la prueba de compresión de las muestras es evidente observar que los cilindros pierden resistencia cuando se les introduce fibras; esto se debe a la acumulación de poros alrededor de las fibras. De acuerdo a los resultados obtenidos, un cilindro pierde 2/3 de su resistencia a compresión cuando se le introduce un arreglo simétrico de 9 fibras ópticas 400- URT separadas 2.5 cm y protegidas con tubos de plástico.

La diferencia de esfuerzo calculado para ambos cilindros muestra una clara pérdida de propiedades mecánicas y resistivas. Los daños exteriores que sufrió la primera muestra fueron mayores, las grietas fueron más evidentes mientras que en la segunda ligeramente se notaron.

Resultados experimentales

La explicación de la variación de la manecilla durante la prueba es debida a la compresión de poros, recordemos que el cilindro contiene fibras ópticas y que éstas se adhieren difícilmente al concreto, por lo tanto una gran cantidad de poros quedan en su interior y al momento de aplicarle una fuerza los poros tienden a reducirse ocasionando un momento de relajación de la maquina.

En las pruebas de frecuencia observamos que el fotorreceptor presenta una característica de filtro paso bajas, de acuerdo a la figura 4.5 en donde se ve la disminución del voltaje conforme aumenta la frecuencia, el ancho de banda optimo (a -3db) es de 60 KHz, después de esta frecuencia la señal recuperada comienza a distorsionarse y pierde potencia.

El proceso de conversión de señal óptica-eléctrica es muy ineficiente y perjudicial a la señal, es por ello que en sistemas de telecomunicaciones de alta velocidad es preferible tratar a la señal de forma óptica durante todo el enlace sin convertirla a eléctrica para evitar alteraciones o retardos.

Los resultados obtenidos en la caracterización del fotodiodo muestran que el coeficiente de absorción es mayor en el intervalo de 800 a 900 [nm], por lo tanto la eficiencia cuántica es máxima en esas longitudes de onda y concuerda perfectamente con las especificaciones dadas para el dispositivo.

En la tabla de eficiencia cuántica (*Tabla 4.6*) es importante señalar que los valores varían del 18% hasta el 41% en la longitud de onda óptima, es decir, pequeñas variaciones de longitud de onda en la fuente de emisión pueden ocasionar una significativa disminución de la señal.

La responsividad tiene un comportamiento diferente, presenta un máximo de 900 a 1000 [nm], y marca muy bajo a los 550 [nm] (longitud dada por el fabricante). Por los resultados anteriores podemos concluir que el fotodiodo $\Phi\Delta$ -263 tiene mejor funcionamiento y mayor rendimiento trabajando a los 900 [nm].