



UNIVERSIDAD
TECNOLOGICA NACIONAL



FACULTAD REGIONAL CORDOBA

ELECTRONICA DE POTENCIA

TRABAJO PRÁCTICO N° 1:
TIEMPO DE RECUPERACIÓN INVERSA DEL DIODO

PROFESOR: Ing. Oros, Ramón

I.T.P.: Ing. Avramovich, Javier

ALUMNOS:

Mauro Roattino	Legajo: 56177
Gervasio Etienot	Legajo: 51524
Ignacio Monasterio	Legajo: 50420
Mauro Palacios	Legajo: 49404

CURSO: 5R2



Nombre:	Legajo:	Curso:	Hoja N°:
		5R2	- 1 -

ENUNCIADO:

1. Armar el siguiente circuito para medir el t_{rr} (Tiempo de Recuperación Inversa):

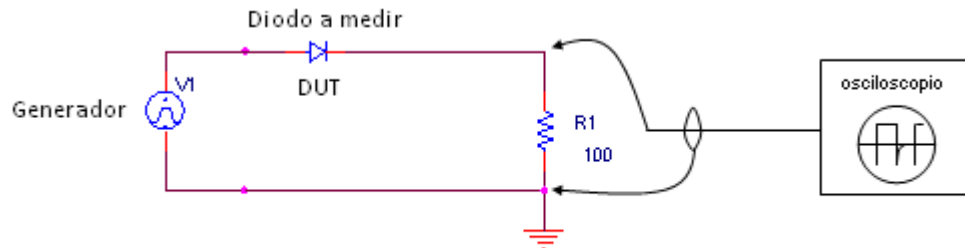


Fig. 7. Circuito básico para medir t_{rr}

2. Dibujar las ondas o tomarlas del Osciloscopio:

La señal del generador será de 100 Hz, y las magnitudes de tensión serán:

- A. Tensión de alimentación +5V/-0V
- B. Tensión de alimentación +5V/-2V
- C. Tensión de alimentación +10V/-0V
- D. Tensión de alimentación +10V/-2V

Diodos:

- A. 1N5408
- B. MUR160
- C. 1N4148



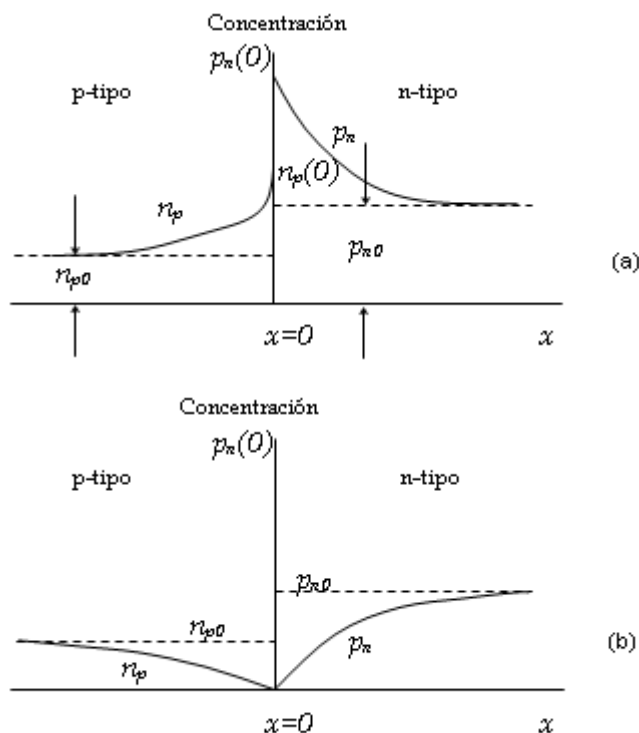
Nombre:	Legajo:	Curso:	Hoja N°:
		5R2	- 2 -

DESARROLLO:

1. Introducción

Cuando se aplica una polarización directa a una unión p-n, la densidad de portadores minoritarios es la indicada por la **figura 1**, donde se observa el incremento de los portadores minoritarios en las adyacencias de la unión provenientes de la inyección desde el otro lado de la unión donde están en exceso por ser mayoritarios.

Si la polarización de un circuito con un diodo polarizado en sentido directo, pasa a ser en sentido inverso, la corriente no podrá pasar inmediatamente al valor que corresponde a la polarización inversa. La corriente no puede anularse a su valor de equilibrio hasta que la distribución de portadores minoritarios, que en el momento de invertir la tensión era la indicada en la **figura 1.1.a.**, pase a ser la distribución de la **figura 1.1.b.**, correspondiente a la distribución en polarización inversa.



El tiempo de recuperación inversa es normalmente medido entre el momento en que la corriente (previamente polarizada a I_F) pasa por cero, en el flanco descendente, y el momento en que la corriente inversa alcanza un valor menor al 10% de la corriente pico inversa IRM. Observando la **figura 2**, t_{rr} está dividido en dos partes. t_a es el tiempo que tarda la concentración de minoritarios en llegar al valor de equilibrio y t_b es el tiempo que tarda en formarse la zona de deplexión. El total de la carga desalojada se llama carga de recuperación inversa Q_{rr} que es la suma de Q_a y Q_b (Q_f) representadas por las áreas debajo de la forma de onda durante t_a y t_b respectivamente. Asumiendo que Q_{rr} está predominantemente formado por Q_a entonces el t_{rr} es aproximadamente igual a t_a .



Nombre:	Legajo:	Curso:	Hoja N°:
		5R2	- 3 -

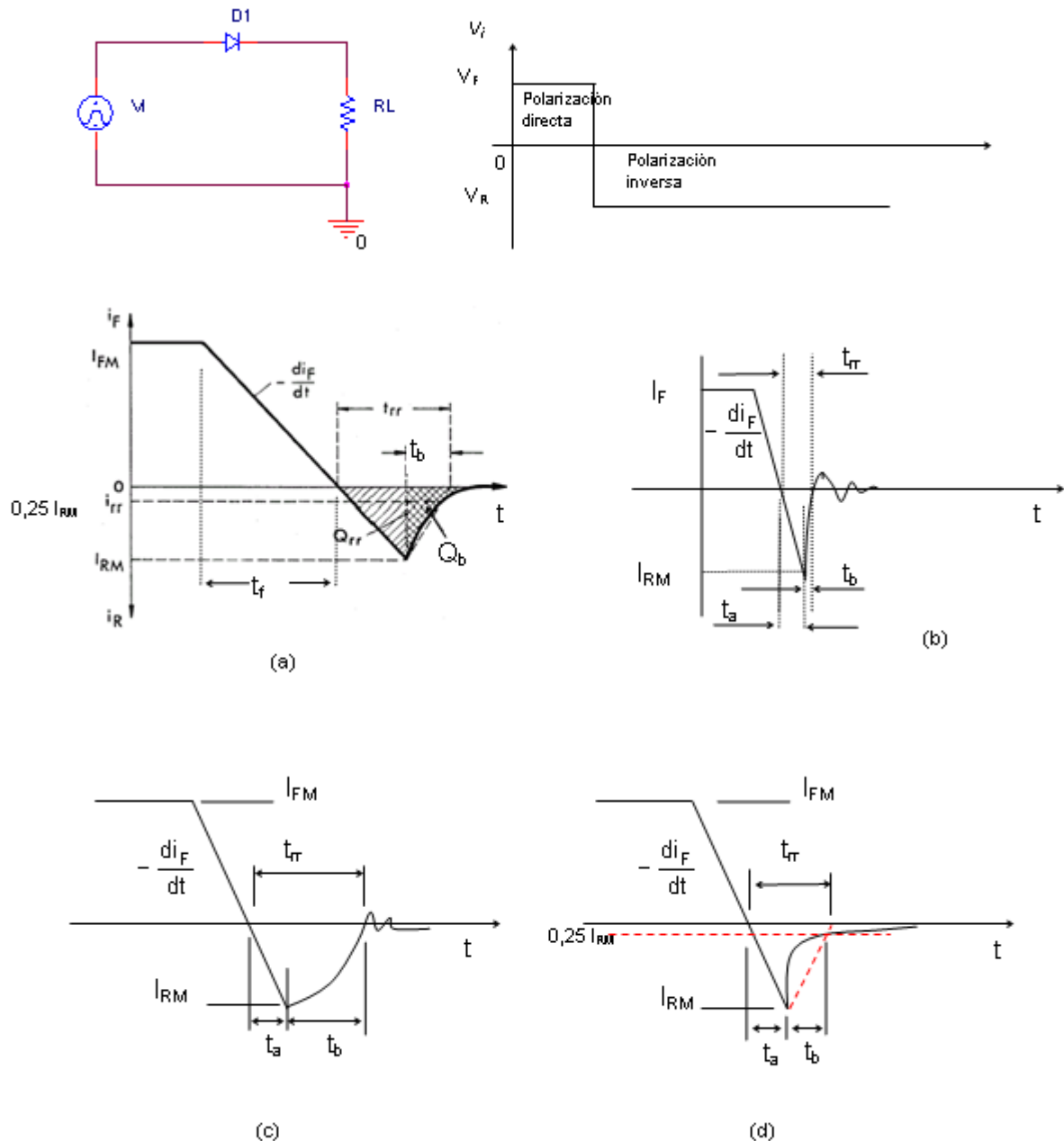


Fig. 2. Formas de onda de corriente para varios tipos de onda y la definición de los límites del tiempo de recuperación en inversa para el circuito descrito.

- (a) recuperación suave,
- (b) recuperación abrupta 1,
- (c) recuperación abrupta 2,
- (d) recuperación abrupta 3

Al final del periodo denotado como t_a , la impedancia del diodo comienza a crecer provocando el decaimiento de la corriente inversa. La naturaleza del decaimiento durante t_b depende de las impurezas del diodo y del circuito de testeo. Si la forma de onda decae suavemente de manera exponencial como se muestra en la **figura 2.a**, se dice que el diodo es de recuperación suave. Si en algún punto durante t_b la forma de onda exhibe una variación rápida en la pendiente como se muestra en las otras figuras, la recuperación es abrupta. Este hecho provoca ciertas dificultades para



Nombre:	Legajo:	Curso:	Hoja N°:
		5R2	- 4 -

establecer un parámetro estándar de medición por lo que se deberá especificar la forma en que se toma la medición para cada dispositivo en particular.

El método de medir t_a coincide con los fabricantes, pero el método de medir t_b no. En el caso de la **Figura 2.b** y c el método es el cruce por cero, debido a que en esta zona está la principal cantidad de carga evacuada.

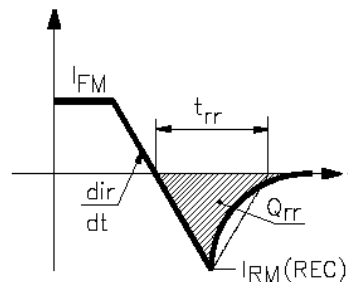
Recombinación de la carga, Q_{rr}

Durante el tiempo de almacenamiento la disminución de la concentración de minoritarios no se debe solamente a la corriente inversa sino que se presenta también el fenómeno de recombinación de cargas por el cual la concentración de minoritarios tiende a pno con el tiempo. Este hecho puede contribuir positivamente a mejorar el tiempo t_{rr} de un diodo, puesto que cargas que se recombinan son cargas que no formarán corriente inversa. Resulta interesante mencionar que un método tecnológico para aumentar la velocidad de recombinación en un semiconductor dopado consiste en agregar pequeñas cantidades de metales como el oro para crear centros de recombinación.

Relación entre Q_{rr} y t_{rr}

Q_{rr} es la cantidad de portadores de carga que fluyen a través del diodo durante el tiempo de recuperación en inversa, t_{rr} debido a un cambio de conducción directa a inversa.

Su valor queda determinado por el área encerrada por la trayectoria de recuperación en inversa.



$$Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} t_{rr}$$

$$I_{RM} \cong \frac{2Q_{rr}}{t_{rr}}$$

$$t_f = t_{rr} - \frac{I_{RM}}{\left(-\frac{di_R}{dt}\right)}$$

Pero, debido a crecimientos lentos de i_R , t_f es pequeño comparado con t_f , las fórmulas se simplifican en:

$$t_{rr} \cong \sqrt{\frac{2Q_{rr}}{\left(-\frac{di_R}{dt}\right)}}$$

y

$$I_{RM} \cong \sqrt{2Q_{rr} \left(-\frac{di_R}{dt}\right)}$$

El tiempo t_{rr} depende de la carga inversa, y de la velocidad de decrecimiento de la corriente, además de la temperatura.



Nombre:

Legajo:

Curso:

Hoja N°:

5R2

- 5 -

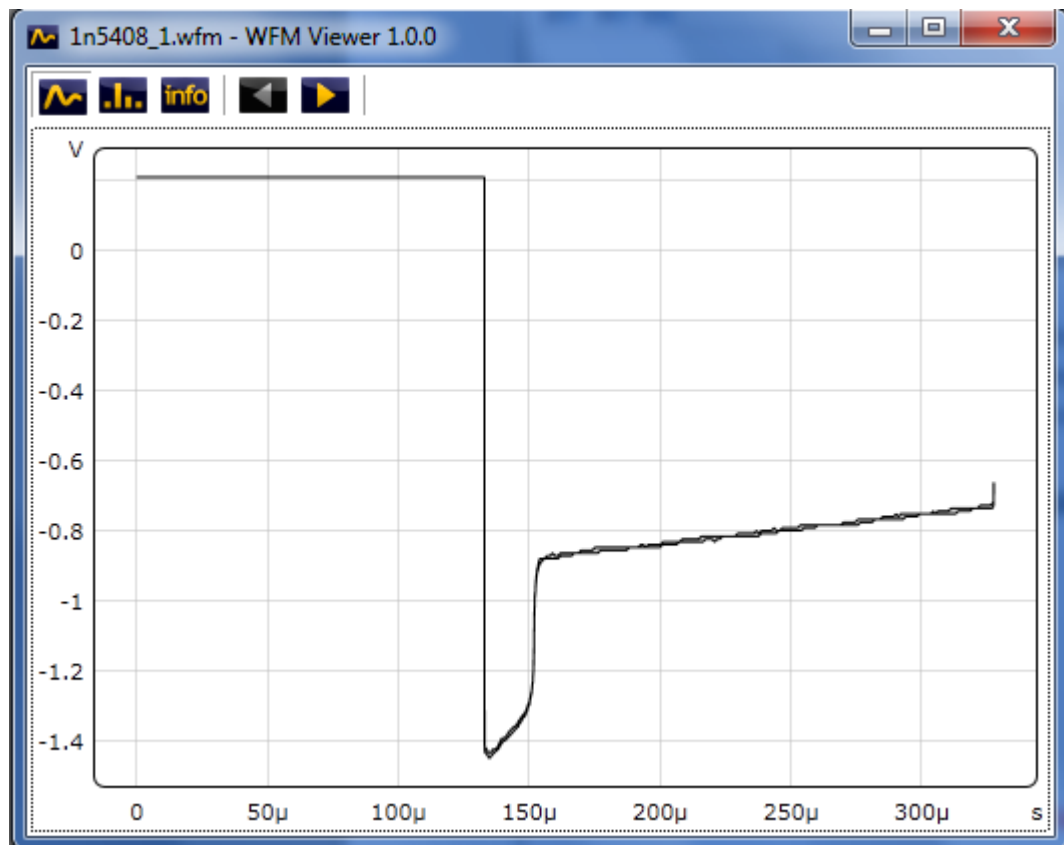
2.1. Diodo 1N5408

Observando la hoja de datos de este diodo, podemos ver que se trata de un diodo de **propósito general**.

En ninguna de las hojas de datos encontradas para este diodo se especifica el t_{rr} , por lo que concluimos que no es un dato de gran importancia en el momento de su utilización, ya que no se emplea en aplicaciones que demanden conmutaciones de alta velocidad.

2.1.1. Tensión de Alimentación +5V/-0V

Oscilograma:



Vp (V)	R (Ω)	I (mA)	I 20% (mA)	trr	Qrr
0,520	100	5,2	1,14	20 μS	52 nC

Como la forma del pico es similar a un triángulo se utilizó la fórmula propuesta anteriormente para el

cálculo $Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} t_{rr}$

$$Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} = \frac{1}{2} 5,2 \text{ mA} \cdot 20 \mu\text{S} = 52 \text{ nC}$$



Nombre:

Legajo:

Curso:

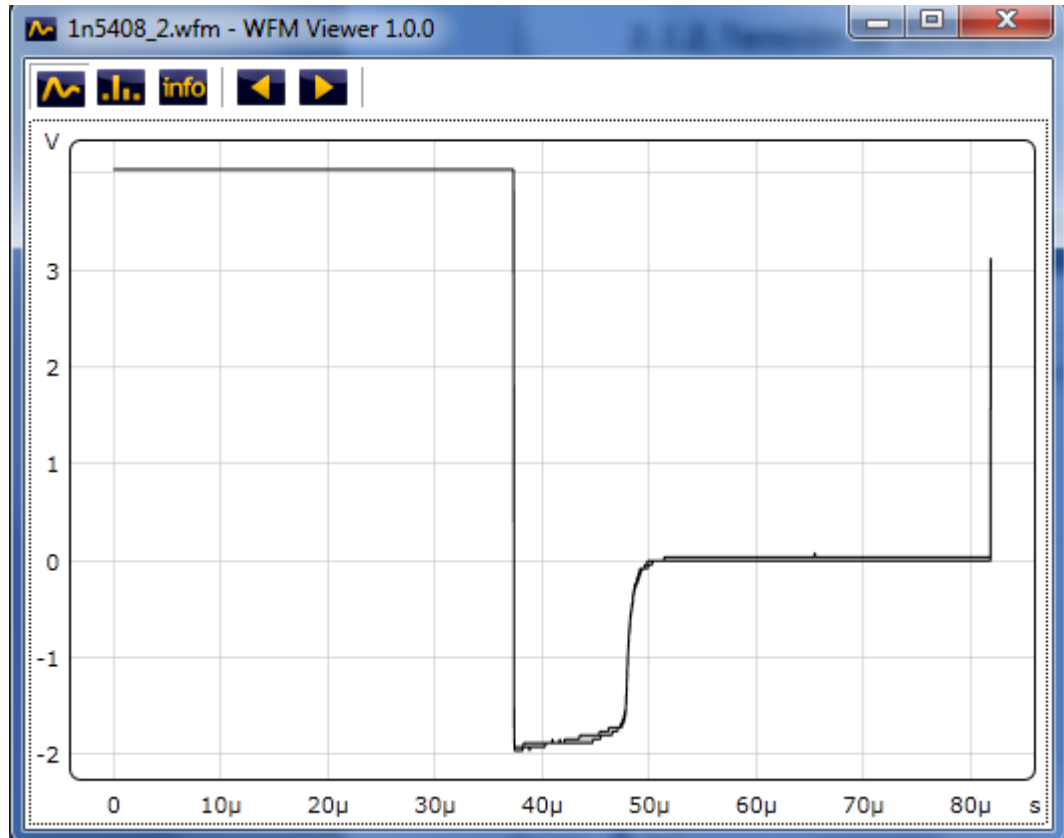
Hoja N°:

5R2

- 6 -

2.1.2. Tensión de Alimentación +5V/-2V

Oscilograma:



Vp (V)	R (Ω)	I (mA)	I 20% (mA)	trr	Qrr
1.92	100	19.2	3.84	10.9 uS	209.3 nC

Como la forma del pico es similar a un rectángulo se utilizo la formula de la superficie de dicha figura (base * altura)

$$Q_{rr} = I_{RM} \cdot t_{rr} = 19.2 \text{ mA} \cdot 10.9 \text{ } \mu\text{S} = 209.28 \text{ nC}$$



Nombre:

Legajo:

Curso:

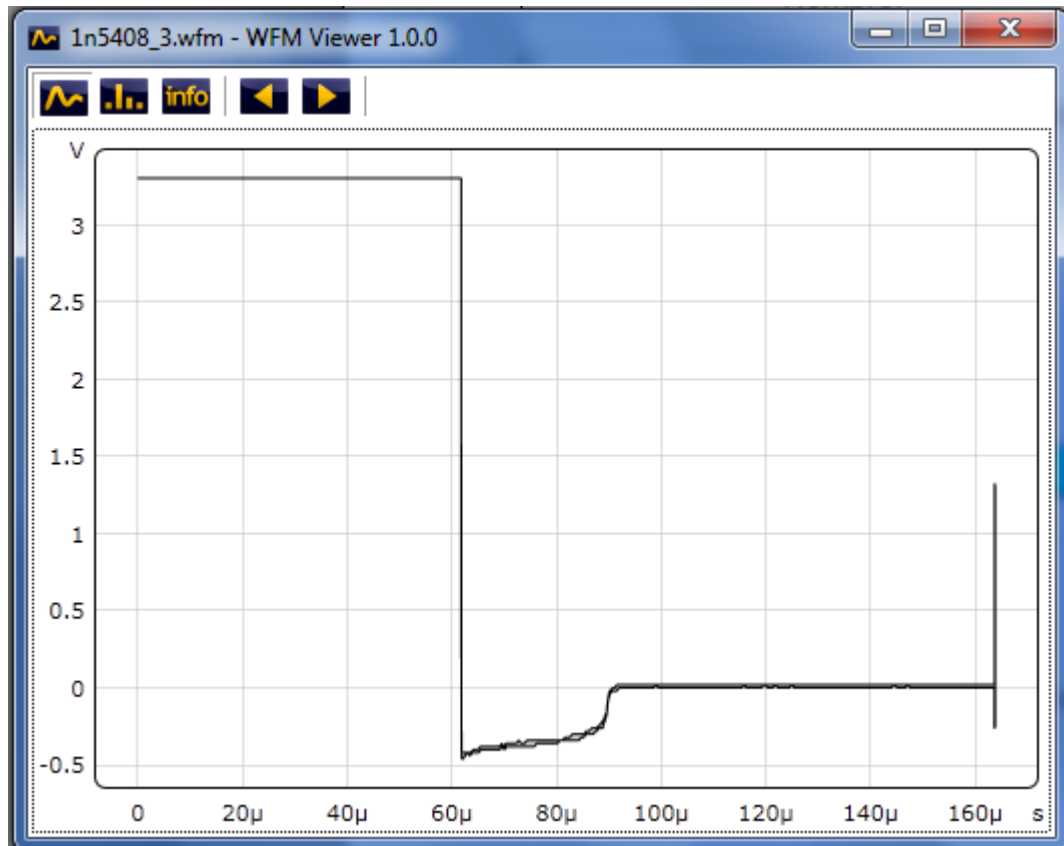
Hoja N°:

5R2

- 7 -

2.1.3. Tensión de Alimentación +10V/-0V

Oscilograma:



Vp (V)	R (Ω)	I (mA)	I 20% (mA)	trr	Qrr
0.456	100	4.56	0.912	28.2 μS	128.59 nC

Como la forma del pico es similar a un rectángulo se utilizó la fórmula de la superficie de dicha figura (base * altura)

$$Q_{rr} = I_{RM} \cdot t_{rr} = 4,56 \text{ mA} \cdot 28,2 \text{ μS} = 128.59 \text{ nC}$$



Nombre:

Legajo:

Curso:

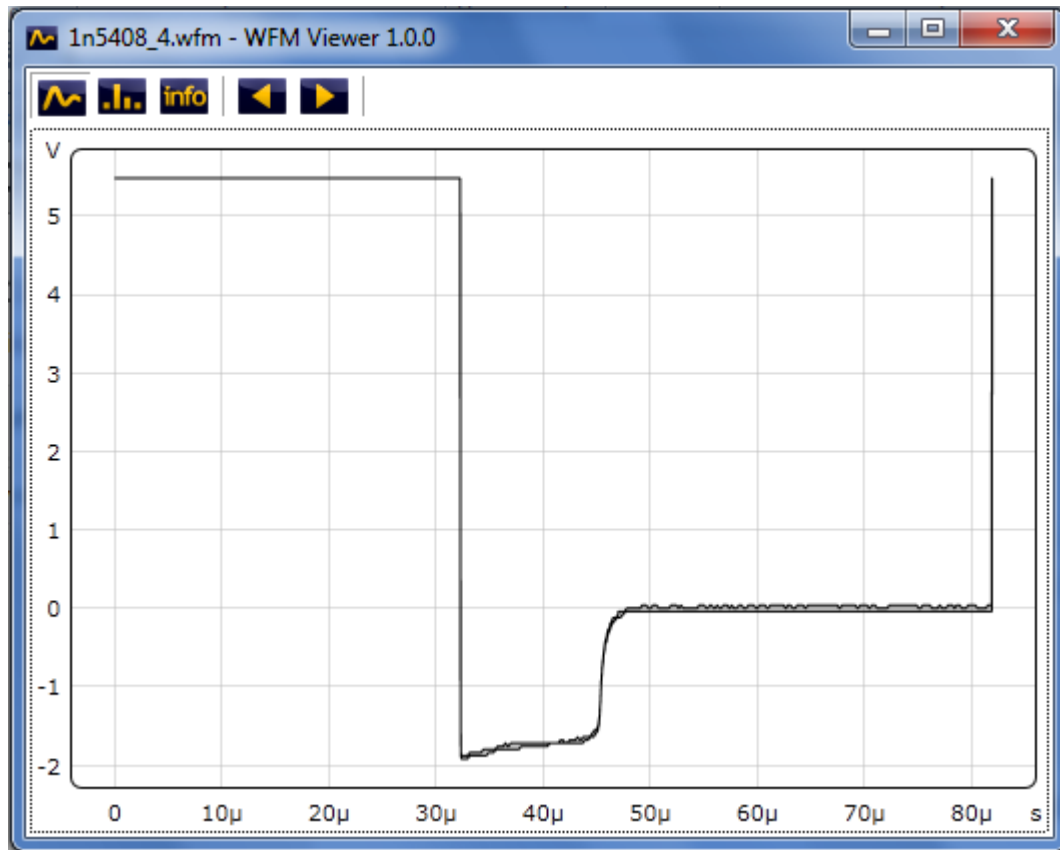
Hoja N°:

5R2

- 8 -

2.1.4. Tensión de Alimentación +10V/-2V

Oscilograma:



Vp (V)	R (Ω)	I (mA)	I 20% (mA)	trr	Qrr
1,92	100	19.2	3,84	13,9 μS	259,2 nC

Como la forma del pico es similar a un rectángulo se utilizó la fórmula de la superficie de dicha figura (base * altura)

$$Q_{rr} = I_{RM} \cdot t_{rr} = 19,2 \text{ mA} \cdot 13,5 \text{ μS} = 259,2 \text{ nC}$$

Podemos observar que cuando se aplica una tensión que varía entre 0 y un valor positivo, el campo eléctrico establecido en la juntura del diodo debido a la tensión umbral de conducción directa, será el que desplace las cargas acumuladas, y dado que la tensión final es 0 (cero), no habrá corriente por depleción de cargas. Esto hace que el tiempo de recuperación inversa (t_{rr}) sea grande y por lo tanto se recombinan mas cargas, y el valor de la tensión inversa tarda más tiempo en llegar a cero. Lo que ocurre cuando aplicamos una tensión inversa, como en el caso de la Tensión de Alimentación de -2 y un valor positivo, es que habrá una corriente inversa producida por los -2 voltios que acelerará la recombinación de cargas produciendo un tiempo de recuperación inversa (t_{rr}) menor.



Nombre:

Legajo:

Curso:

Hoja N°:

5R2

- 9 -

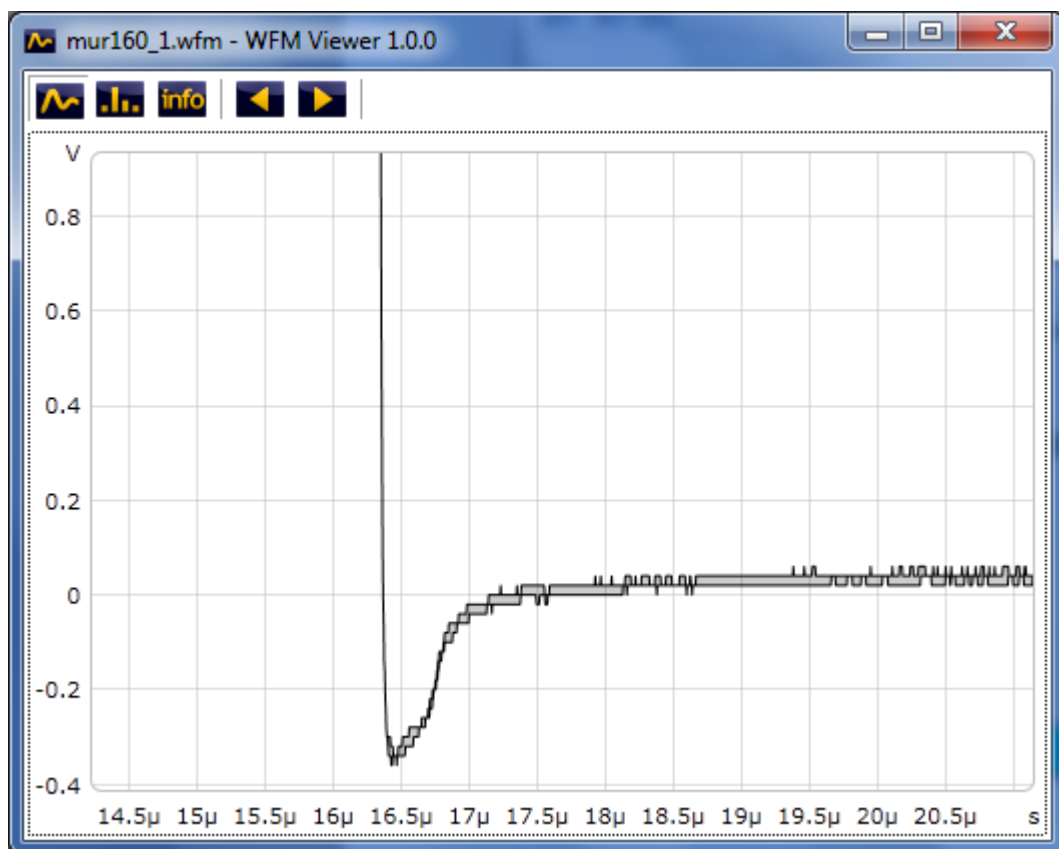
2.2. Diodo MUR160

La hoja de datos de este diodo indica que se trata de un **Efficient Fast Rectifier Diode**, y se utiliza en aplicaciones de conmutación rápida.

El t_{rr} proporcionado por el fabricante en la hoja de datos es de 50ns dadas las siguientes condiciones: $I_F = 0,5 \text{ A}$, $I_R = 1 \text{ A}$ e $I_{rr} = 0,25 \text{ A}$.

2.1.5. Tensión de Alimentación +5V/-0V

Oscilograma:



Vp (V)	R (Ω)	I (mA)	I 20% (mA)	trr	Qrr
0,349	100	3,49	0,698	468 nS	0.816 nC

Como la forma del pico es similar a un triángulo se utilizó la fórmula propuesta anteriormente para

el cálculo $Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} t_{rr}$

$$Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} = \frac{1}{2} 3,49 \text{ mA} \cdot 468 \text{ nS} = 0.816 \text{ nC}$$



Nombre:

Legajo:

Curso:

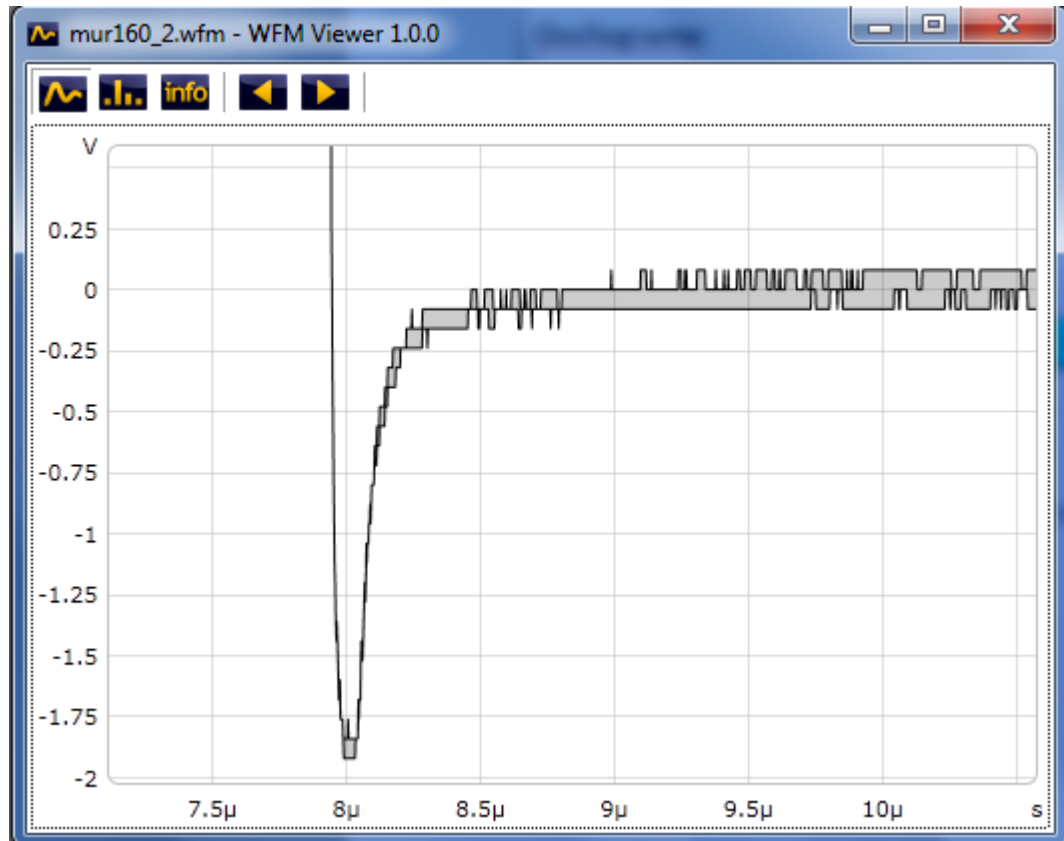
Hoja N°:

5R2

- 10 -

Tensión de Alimentación +5V/-2V

Oscilograma:



Vp (V)	R (Ω)	I (mA)	I 20% (mA)	trr	Qrr
1,88	100	18,8	3,76	218 nS	2,04 nC

Como la forma del pico es similar a un triángulo se utilizo la formula propuesta anteriormente para

el calculo $Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} t_{rr}$

$$t_{rr} = \Delta t_p + \Delta t = 96 \text{ nS} + 122 \text{ nS} = 218 \text{ nS}$$

$$Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} . t_{rr} = \frac{1}{2} 18,8 \text{ mA} . 218 \text{ nS} = 2,04 \text{ nC}$$



Nombre:

Legajo:

Curso:

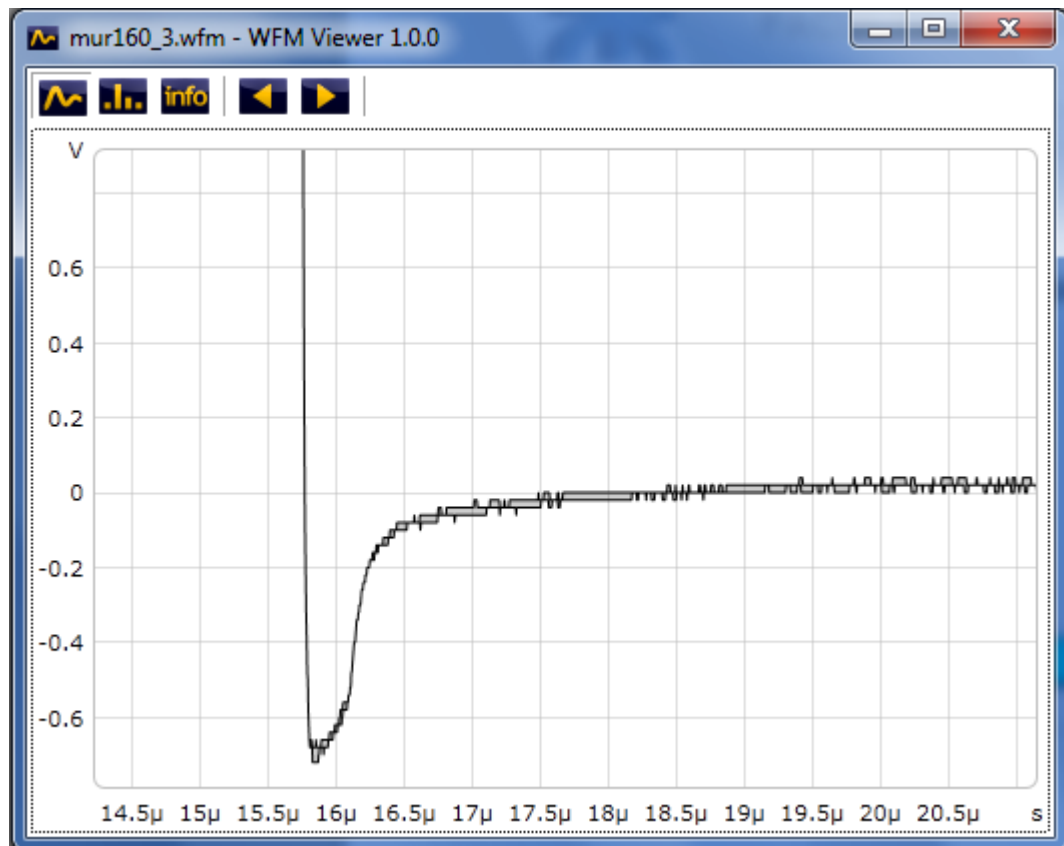
Hoja N°:

5R2

- 11 -

2.1.6. Tensión de Alimentación +10V/-0V

Oscilograma:



V _p (V)	R (Ω)	I (mA)	I 20% (mA)	trr	Q _{rr}
0.728	100	7,28	1.456	536 nS	2,24 nC

$$t_{rr} = \Delta t_p + \Delta t = 80 \text{ nS} + 456 \text{ nS} = 536 \text{ nS}$$

Se divide en 2 las zonas a analizar primero hasta el pico como un rectángulo y luego hasta el 80% del recorrido de la curva como triángulo.

$$Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} = \frac{1}{2} 7.28 \text{ mA} \cdot 456 \text{ nS} = 1,659 \text{ nC}$$

$$Q_{rr} = I_{RM} \cdot t_{rr} = 7,28 \text{ mA} \cdot 80 \text{ nS} = 0.5824 \text{ nC}$$



Nombre:

Legajo:

Curso:

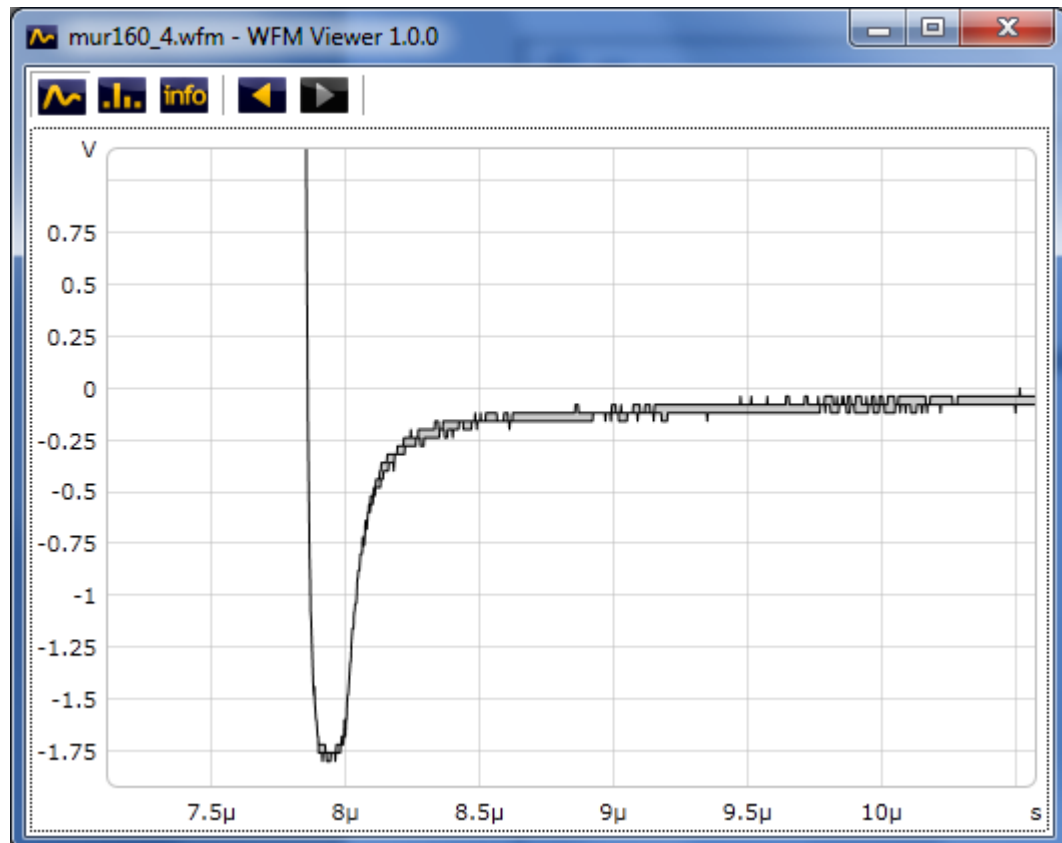
Hoja N°:

5R2

- 12 -

2.1.7. Tensión de Alimentación +10V/-2V

Oscilograma:



Vp (V)	R (Ω)	I (mA)	I 20% (mA)	trr	Qrr
1,8	100	18	3,6	292 nS	2,62 nC

Como la forma del pico es similar a un triángulo se utilizó la fórmula propuesta anteriormente para el cálculo $Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} t_{rr}$

$$t_{rr} = \Delta t_p + \Delta t = 220 \text{ nS} + 72 \text{ nS} = 292 \text{ nS}$$

$$Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} = \frac{1}{2} 18 \text{ mA} \cdot 292 \text{ nS} = 2,62 \text{ nC}$$



Nombre:	Legajo:	Curso:	Hoja N°:
		5R2	- 13 -

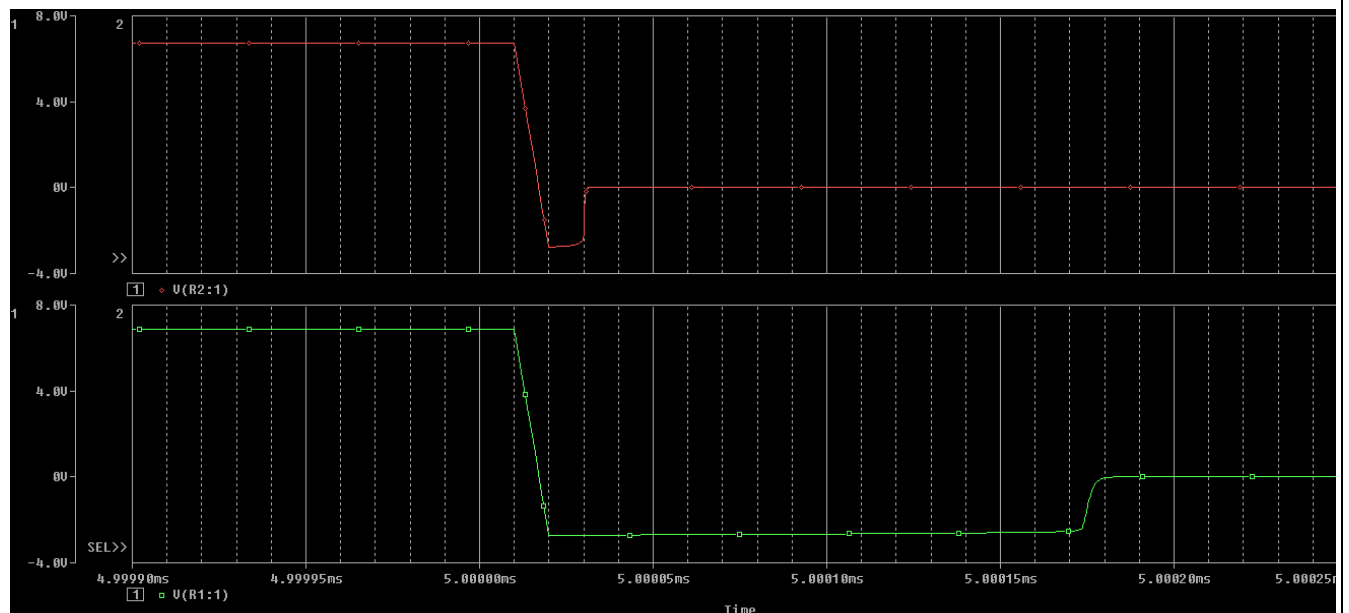
2.3. Diodo 1N4148

La hoja de datos de este diodo indica que es un **Switching Diode**, y se lo utiliza en aplicaciones de conmutación de alta velocidad.

El valor de t_{rr} proporcionado por el fabricante es de 4ns con las condiciones de $V_R=6V$, $I_F=10mA$ y $R_L=100\Omega$.

Como el rango de nuestro osciloscopio es menor al tiempo de Switch del diodo se nos imposibilita la medición directamente por lo que se simulara las curvas vía PSPICE.

Simulación comparada con el diodo MUR160:





Nombre:	Legajo:	Curso:	Hoja N°:
		5R2	- 14 -

3. Conclusiones

Al observar los valores obtenidos en las mediciones realizadas en el Laboratorio vemos que los valores del Tiempo de Recuperación Inversa (t_{rr}) son mucho más elevados que los valores proporcionados por el fabricante en las hojas de datos.

Esto se debe a que las condiciones de prueba en las que se midió el t_{rr} proporcionado por el fabricante no son las mismas que las condiciones que utilizamos para realizar nuestras mediciones. Además el circuito utilizado en la hoja de datos para medir el t_{rr} difiere del circuito utilizado en este práctico.

Para una correcta medición del t_{rr} se deberían utilizar instrumentos adecuados, como por ejemplo un osciloscopio con mayor ancho de banda, como así también tener en cuenta la capacidad introducida por las puntas y el tiempo de respuesta del generador utilizado, a demás del error agregado por el valor tomado del 20% de la IRM.

Y además se observa que utilizando una señal que conmuta de una tensión positiva a una negativa, el pico de corriente se incrementa y el tiempo de conmutación disminuye. Según los datos relevados, el pico de corriente resulta entre 3 y 4 veces mayor y el tiempo aproximadamente a la mitad, en comparación con la señal que oscila de una tensión positiva a cero.