

# ELECTRÓNICA DE POTENCIA

**T. P. N°1:**

**TIEMPO DE RECUPERACION EN INVERSA DEL DIODO**

Profesor Teórico: Ing. Oros, Ramon

JTP: Ing. Avramovich, Javier

Año de cursado: 2013

Curso: 5R1

Integrantes:

- Biolato, Laura
- Castro, Ricardo
- Guido, Martin
- Ramirez, Gabriela

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo		5R2	2
Guido, Martín Ramírez, Gabriela			

1. Armar el siguiente circuito para medir el  $t_{rr}$ .

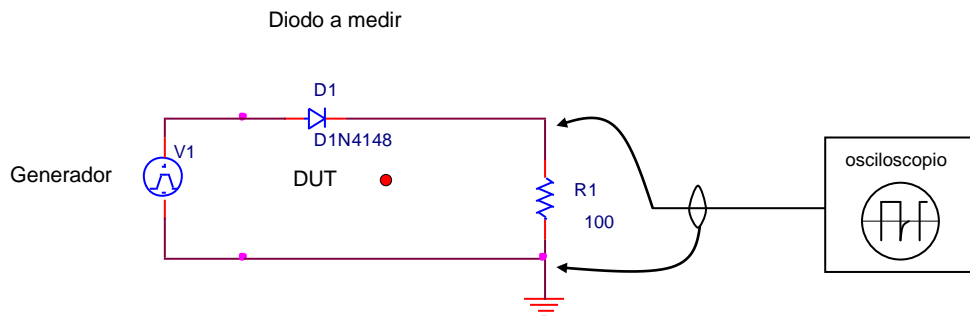


Fig. 7. Circuito básico para medir  $t_{rr}$

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 +5/-2V
- C- tensión de alimentación +10V/-0V
- D- tensión de alimentación +10/-2V

Diodos

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

Realizar el gráfico de las señales vistas en el osciloscopio dibujando la corriente de recuperación en inversa y señalando el valor del tiempo  $t_{rr}$  y el valor de la recuperación de carga  $Q_{rr}$ .

## 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.

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo		5R2	3
Guido, Martín Ramirez, Gabriela			

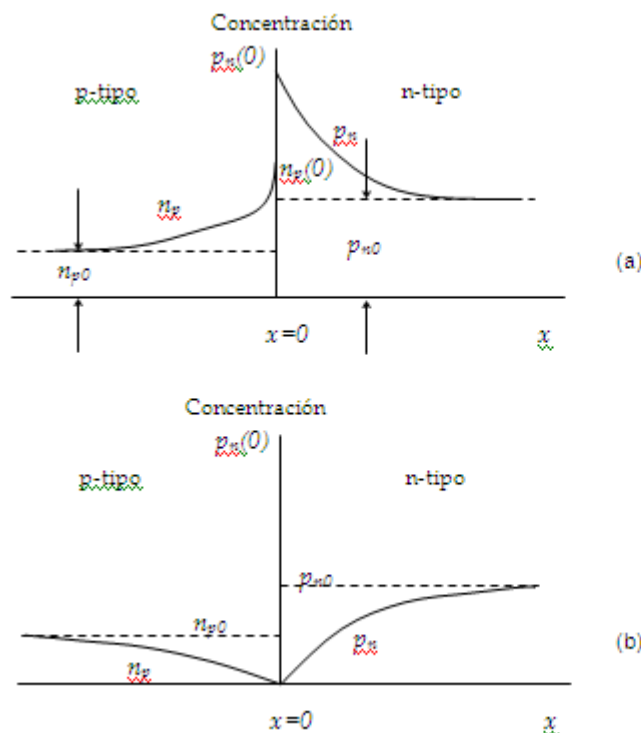


Fig. 1.1.a. Distribución de la densidad de portadores minoritarios en función de la distancia  $x$  a la unión

(a) en polarización directa  
(b) en polarización inversa

### Tiempo de transición y de almacenamiento

En la figura 2 se indica la secuencia que acompaña la inversión del sentido directo al inverso en la polarización del diodo. Consideremos que la tensión de la figura 2.b se aplica al circuito resistencia diodo de la figura 2.a. Durante largo tiempo y hasta  $t_1$ , se ha aplicado la tensión de polarización en el sentido directo  $V_i = V_F$ . La resistencia  $R_L$  se supone lo suficientemente grande como para que la diferencia de potencial entre sus extremos sea elevada comparada con la del diodo. En este caso la corriente será  $i \approx V_F/R_L \approx I_F$ . En el instante  $t = t_1$ , la tensión de entrada se invierte bruscamente al valor  $v = -V_R$ . Por las razones descritas anteriormente, la corriente no baja a cero, sino que se invierte y permanece a un valor  $i \approx -V_R/R_L = -I_R$  hasta que transcurre un tiempo  $t = t_2$ . En ese momento, tal como se observa en la figura 3.c, la densidad de portadores minoritarios  $p_n$  a  $x=0$  ha alcanzado su estado de equilibrio  $p_{n0}$ . Si la resistencia óhmica del diodo es  $R_d$  la tensión del diodo desde  $t_1$  cae lentamente pero no se invierte. Para  $t=t_2$ , cuando el exceso de portadores minoritarios en las inmediaciones de la unión ha pasado a través de ella, la tensión en el diodo empieza a invertirse y la corriente a decrecer. El intervalo de  $t_1$  a  $t_2$  en el que la carga de minoritarios llega a ser cero, se denomina tiempo de almacenamiento  $t_s$ .

El lapso de tiempo transcurrido entre  $t_2$  y el momento en que el diodo se ha recuperado totalmente, se denomina tiempo de transición  $t_{tr}$ . Este intervalo de

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo	Guido, Martín Ramírez, Gabriela	5R2	4

recuperación se completa cuando los portadores minoritarios que se hallan a cierta distancia de la unión lleguen a difundirse a través de ella, atravesándola, y, a la vez, cuando la capacidad de transición de la unión polarizada en inversa se cargue a la tensión  $-V_R$  a través de la resistencia  $R_L$ .

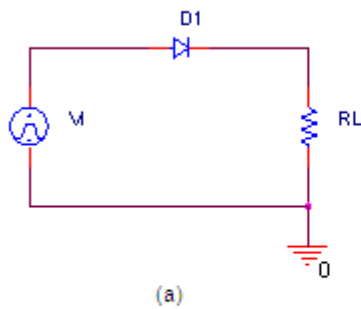
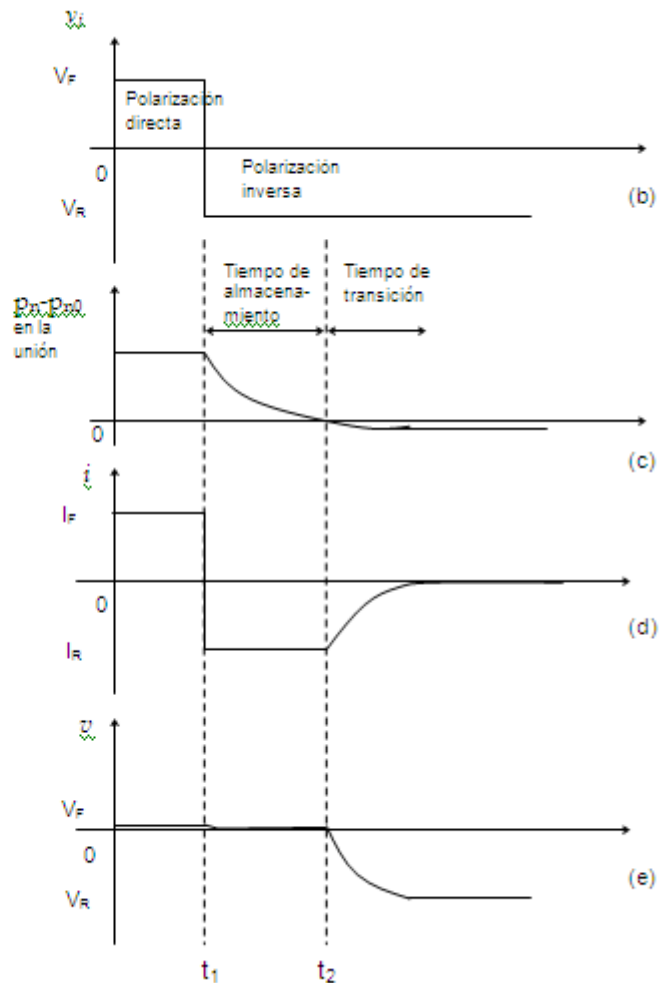


Fig. 2. Conexión del diodo para el ensayo básico del tiempo de recuperación en directa y en inversa  
(a) circuito básico  
(b) forma de onda del generador  
(c) densidad de exceso de portadores de la unión  
(d) corriente del diodo  
(e) tensión del diodo



### Recombinación de la carga, $Q_{rr}$

Durante el tiempo de almacenamiento la disminución de la concentración de minoritarios (figura 2.c.) 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.

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo	Guido, Martín Ramírez, Gabriela	5R2	5

## Especificaciones de los fabricantes

Originalmente los diodos rectificadores registrados en el JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council of the Electronic Industries Association, EIA, and National Electrical manufacturer Association, NEMA) no requerían especificaciones de conmutación ya que las principales aplicaciones eran de 50-60 Hz. Actualmente la amplia aplicación de los diodos en conmutación de altas potencias requiere de especificaciones precisas que aseguren la compatibilidad entre dispositivos de distintos fabricantes; para esto se utiliza normalmente un circuito de “test” para obtención de los valores límites de  $t_{rr}$  como el mostrado en la figura 3, originalmente proyectado por JEDEC en 1970. Los componentes del circuito se deben ajustar a las condiciones especificadas para el test, como por ejemplo:

- \*  $T_c = 25^\circ\text{C}$
- \* frecuencia de repetición de pulsos = 60 Hz
- \*  $di/dt = 25 \text{ A}/\mu\text{s}$
- \* Corriente directa pico 4 veces mayor que la nominal
- \* Duración pequeña del pulso para minimizar la disipación de potencia.

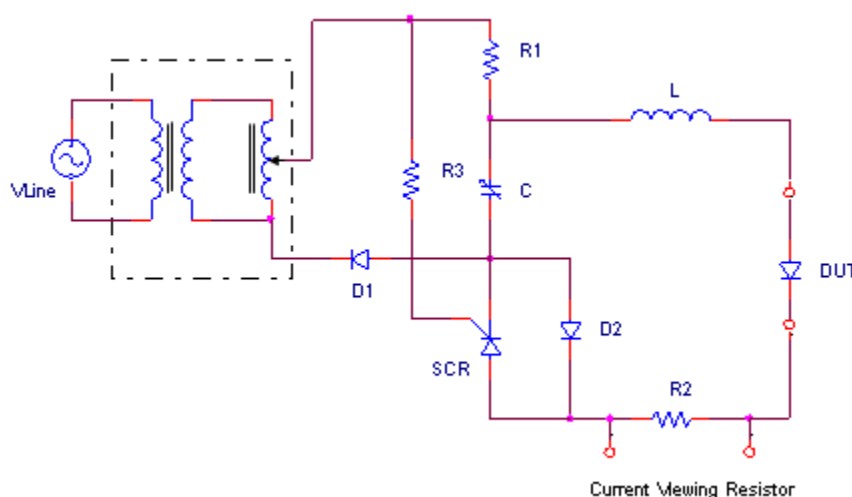


Fig. 3. Circuito Standard JEDEC (1970) antiguo para la medición del tiempo de recuperación en inversa

Este circuito es difícil de adaptar a las condiciones necesarias para medir diodos ultrarrápidos, por ejemplo, en los que el  $t_{rr}$  está por debajo de los 100 ns. El problema principal lo presenta el inductor que se usa para generar el pulso de corriente positiva que

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo	Guido, Martín Ramírez, Gabriela	5R2	6

provoca oscilaciones cuando el diodo entra en la zona de alta impedancia ( $t_b$ ) de la recuperación dificultando con esto la medición de esta zona.

Debido a esto la nueva versión del Standard ANSI-EIA-282-A-1989 desarrollado por el comité JEDEC en diodos rectificadores y tiristores, y aprobado por ANSI en Septiembre de 1989, presenta la manera de manejar el diodo con pulsos cuadrados derivados de un circuito con MOSFETs de potencia. El circuito mostrado en la figura 4 permite valores altos de  $di/dt$ , típicos de los circuitos de potencia modernos, manteniendo los valores de inductancia bajos.

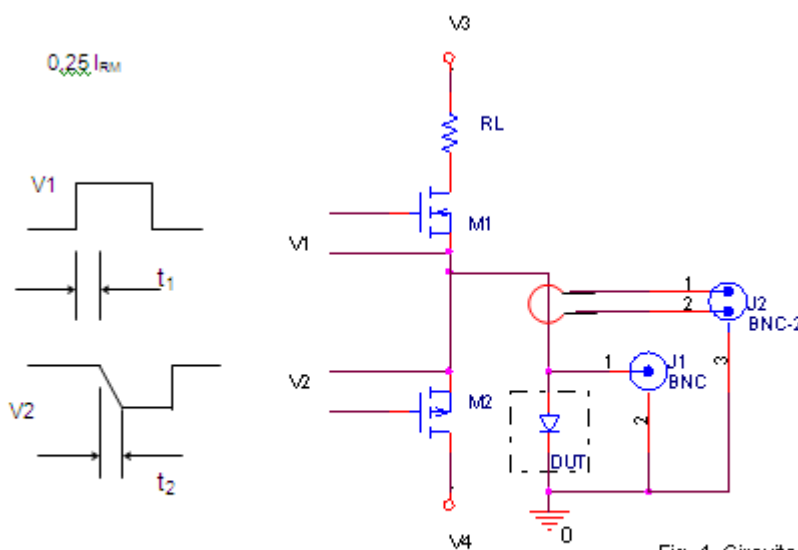


Fig. 4. Circuito de Test ANSI-EIA-282-A-1989 propuesto por JEDEC para diodos ultra-rápidos

La figura 5 muestra la forma de onda idealizada de la corriente en el dominio del tiempo resultante del circuito de la figura 4. 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 25% de la corriente pico inversa  $I_{RM}$ . Observando la figura 5,  $t_{rr}$  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 deflexión. 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  $Q_a$  entonces el  $t_{rr}$  es aproximadamente igual a  $t_a$ .

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo		5R2	7
Guido, Martín Ramírez, Gabriela			

### Tiempo de recuperación en inversa, $t_{rr}$

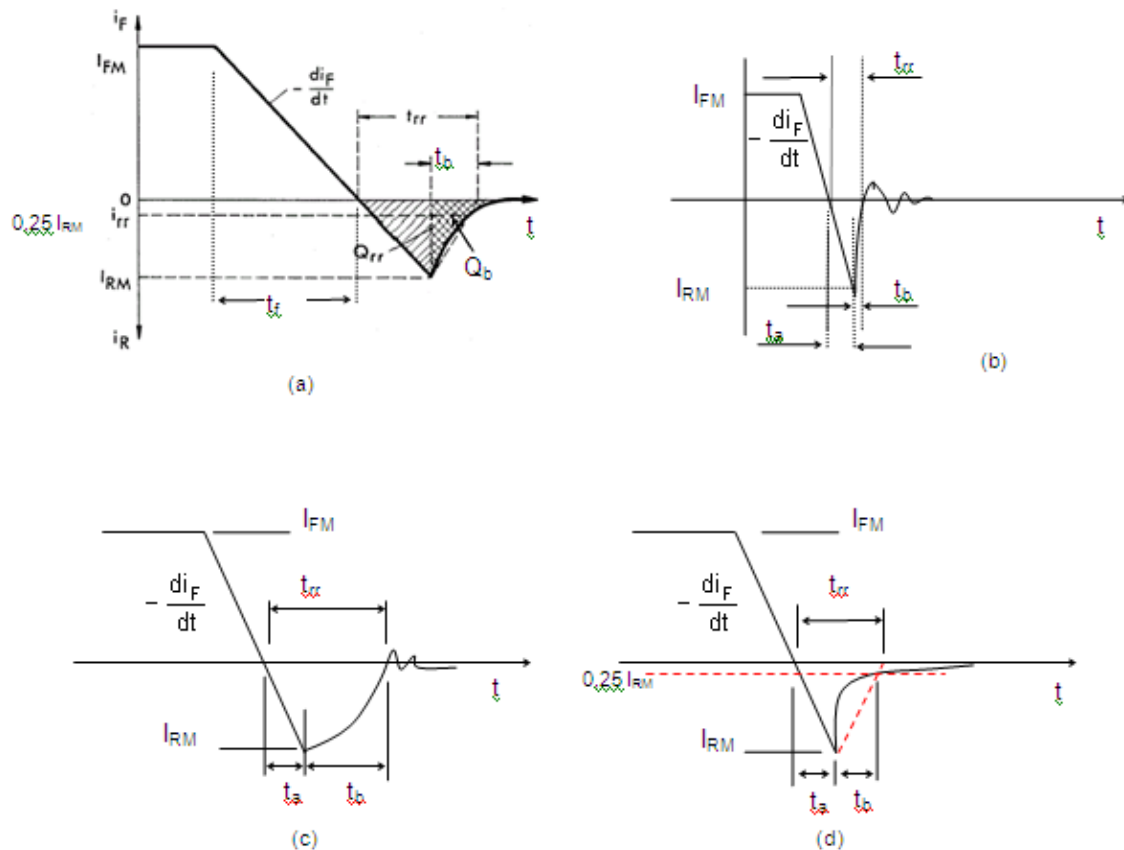


Fig. 5. Formas de onda de corriente para varios tipos de diodo y la definición de los límites del tiempo de recuperación en inversa para el circuito de la Fig. 4  
(a) recuperación suave,  
(b) recuperación abrupta 1,  
(c) recuperación abrupta 2,  
(d) recuperación abrupta 3

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 5.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 establecer un

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo	Guido, Martín Ramirez, Gabriela	5R2	8

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 Fig. 5.b y c el método es el cruce por cero, debido a que en esta zona está la principal cantidad de carga evacuada.

### Relaciones entre $Q_{rr}$ y $t_{rr}$

- 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.

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

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

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

Fig. 1.b.

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

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

Fig. 2.

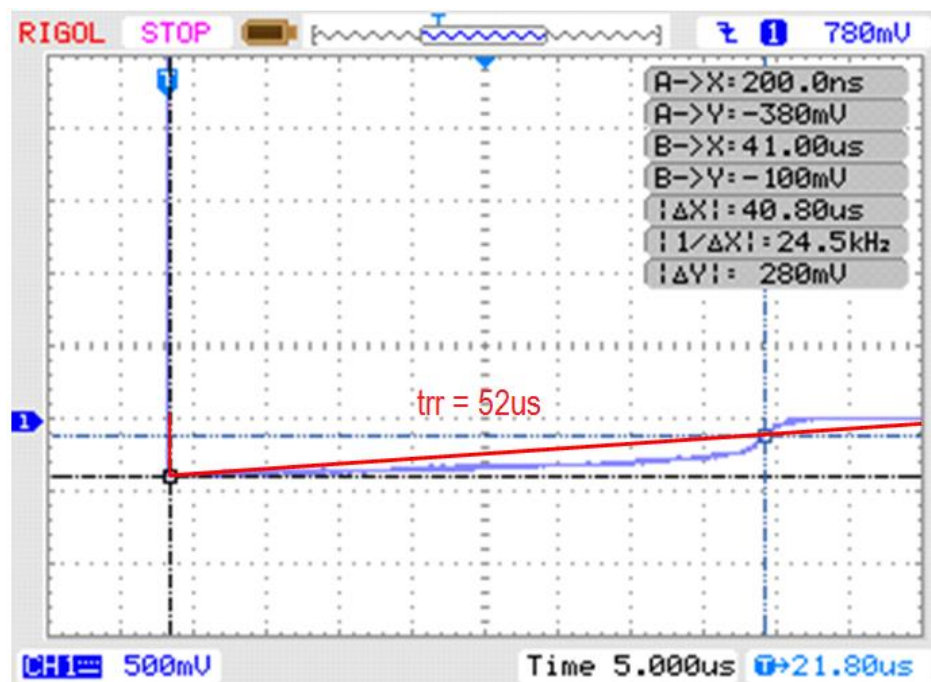
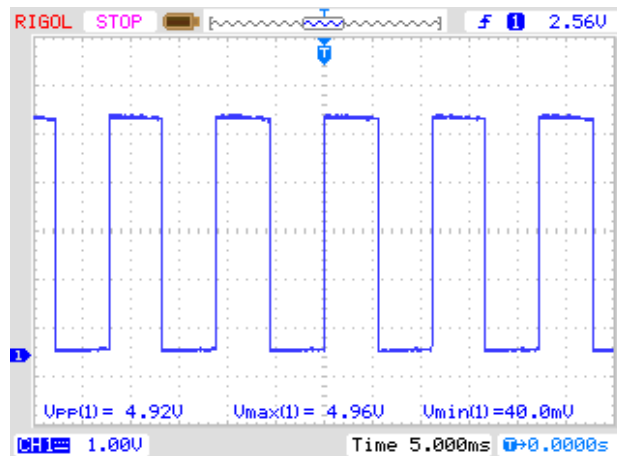
El tiempo  $t_{rr}$  depende de la carga inversa, y de la velocidad de decrecimiento de la corriente, además de la temperatura.




GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo	Guido, Martín Ramírez, Gabriela	5R2	9

### Diodo: 1N5408

a) Tensión de alimentación: +5V/0V

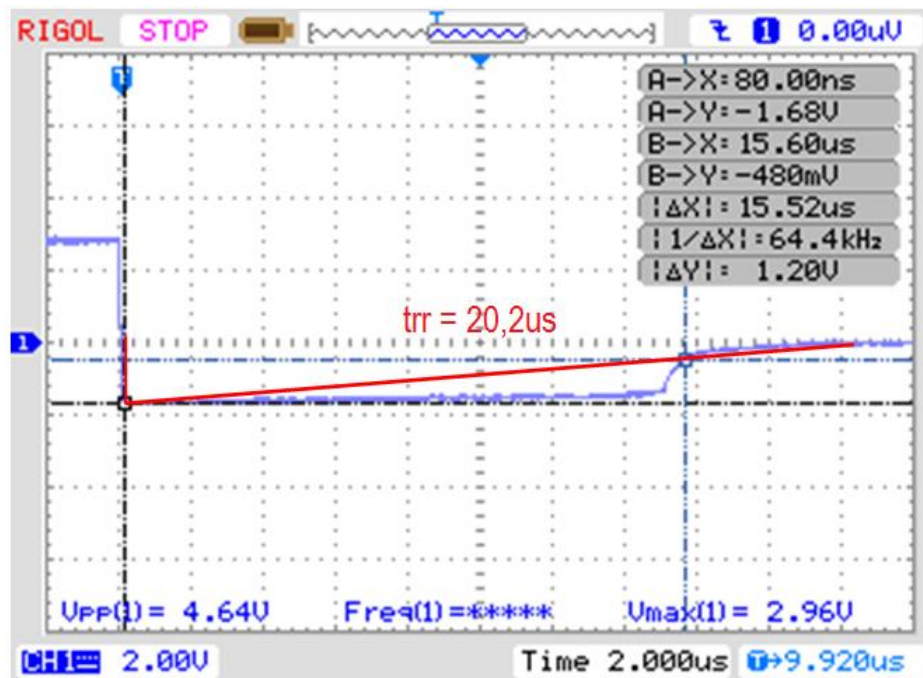
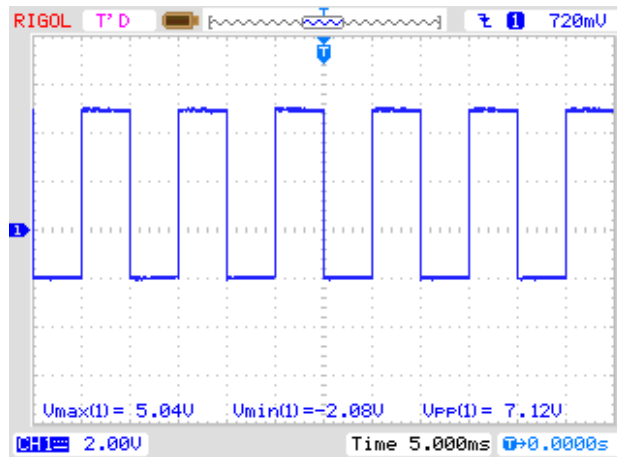


$$I_{RM} = \frac{-380 \text{ mV}}{100 \text{ } \Omega} = -3,8 \text{ mA}$$

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL CORDOBA		ELECTRÓNICA DE POTENCIA	
GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo		5R2	10
Guido, Martín Ramirez, Gabriela			
$I_{rr} = I_{RM} \cdot 0,25 = -0,95 \text{ mA}$ $t_{rr} = 52 \text{ us}$ $Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} = \frac{1}{2} 3,8 \text{ mA} \cdot 52 \text{ us} = 98,80 \text{ nC}$			

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo		5R2	11
Guido, Martín Ramírez, Gabriela			

b) 5V/-2V



$$I_{RM} = \frac{-1,68V}{100 \Omega} = -16,8 \text{ mA}$$

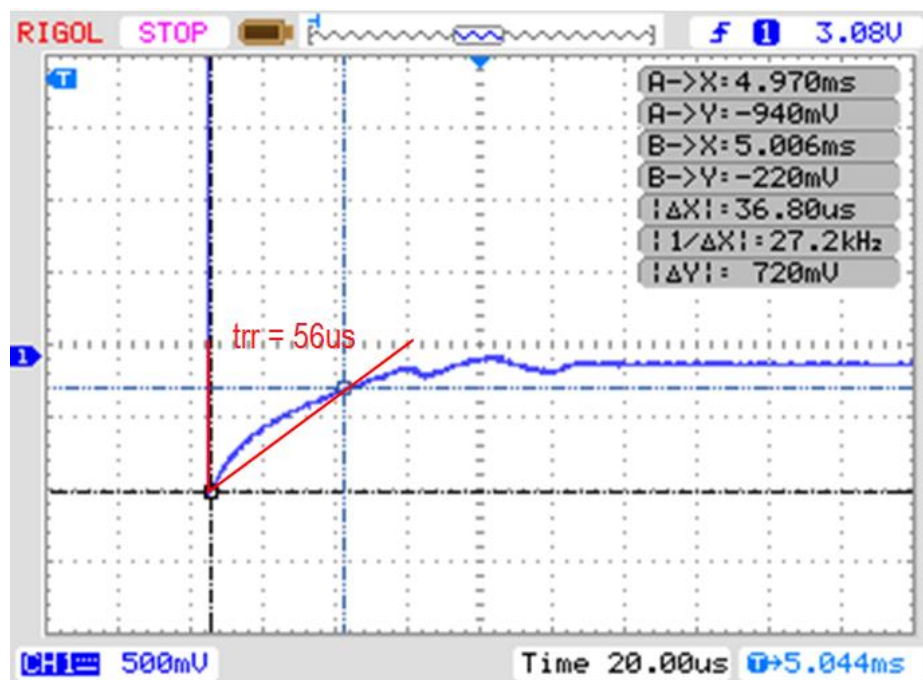
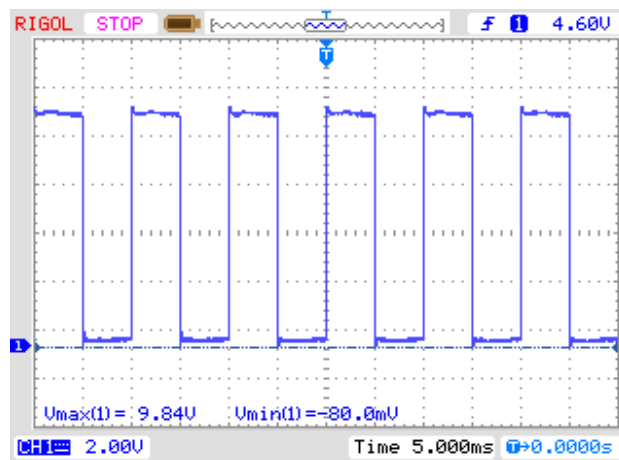
$$I_{rr} = I_{RM} * 0,25 = -4,2 \text{ mA}$$

$$t_{rr} = 20,2 \text{ us}$$

$$Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} = \frac{1}{2} 16,8 \text{ mA} \cdot 20,2 \text{ us} = 169,68 \text{ nC}$$

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo		5R2	12
Guido, Martín Ramírez, Gabriela			

c) 10V/0V



$$I_{RM} = \frac{-940 \text{ mV}}{100 \text{ } \Omega} = -9,4 \text{ mA}$$

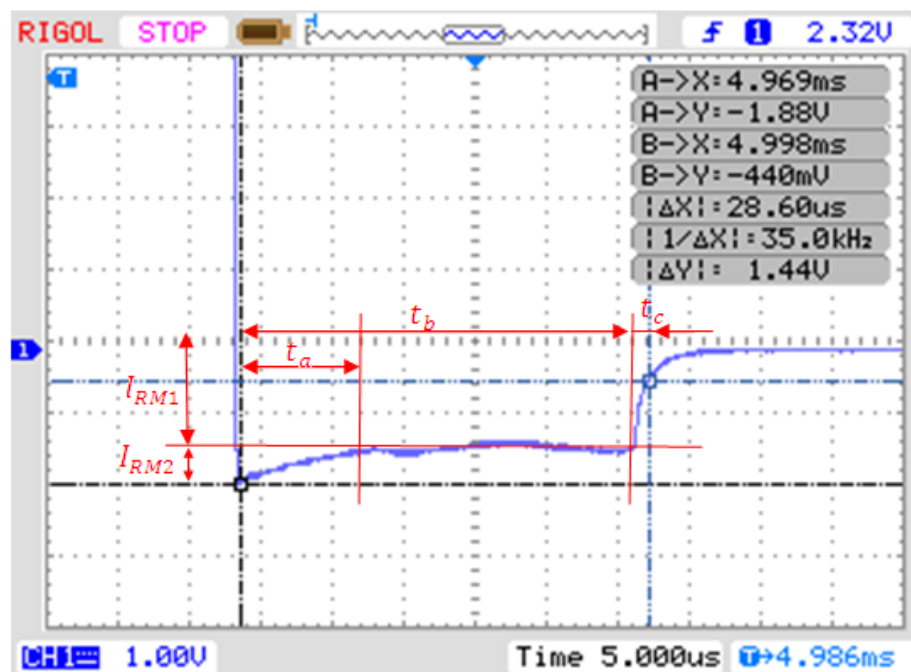
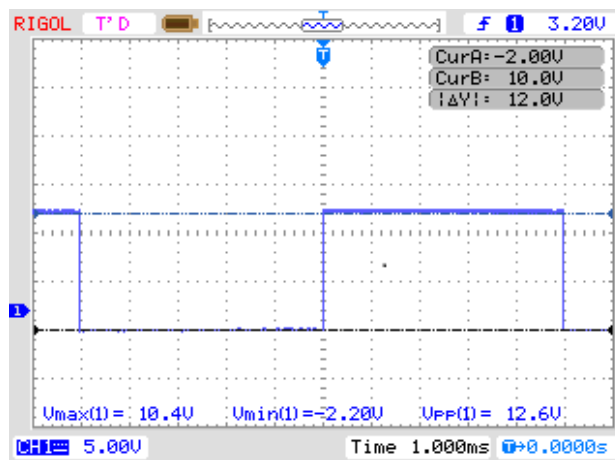
$$I_{rr} = I_{RM} * 0,25 = -2,35 \text{ mA}$$

$$t_{rr} = 56 \text{ us}$$

$$Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} = \frac{1}{2} 9,4 \text{ mA} \cdot 56 \text{ us} = 263,20 \text{ nC}$$

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo	Guido, Martín Ramirez, Gabriela	5R2	13

d) 10 V/-2 V



$$I_{RM} = \frac{-1.88V}{100 \Omega} = -18.8mA ; I_{RM2} = 6 mA ; I_{RM1} = 12.8 mA$$

$$I_{rr} = I_{RM} * 0.25 = -4.5 mA$$

$$t_{rr} = 29 \mu s ; t_a = 6.5 \mu s ; t_b = 27 \mu s ; t_c = 2 \mu s$$

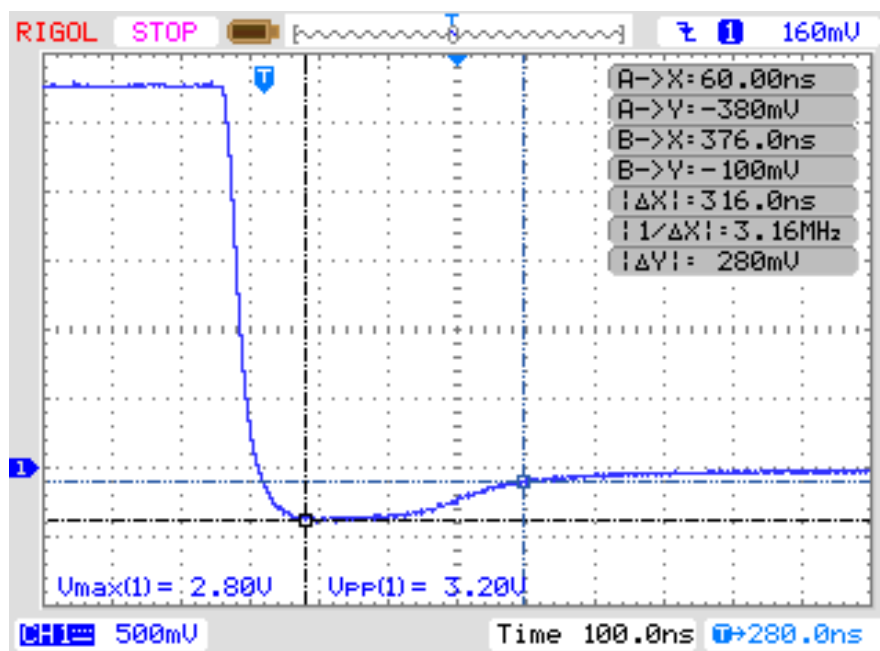
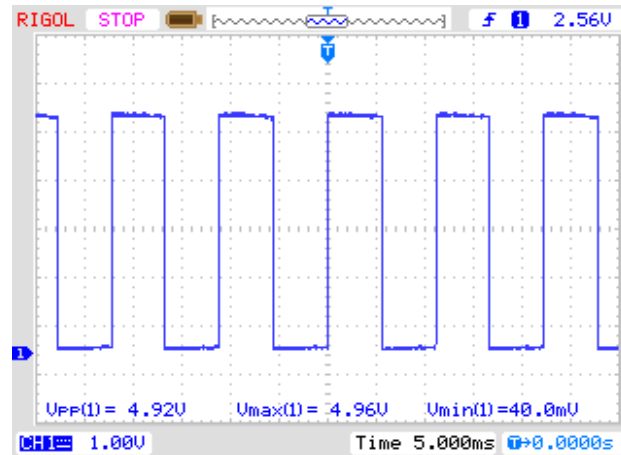
$$Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM2} \cdot t_a + I_{RM1} \cdot t_b + \frac{1}{2} I_{RM2} \cdot t_c$$

$$Q_{rr} = \frac{1}{2} 6mA \cdot 6.5 \mu s + 12.8 mA \cdot 27 \mu s + \frac{1}{2} 12.8 mA \cdot 2 \mu s = 377.9 nC$$

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo		5R2	14
Guido, Martín Ramírez, Gabriela			

### Diodo: MUR 160

a) Tensión de alimentación: +5V/0V



$$I_{RM} = \frac{-380mV}{100 \Omega} = -3,80mA$$

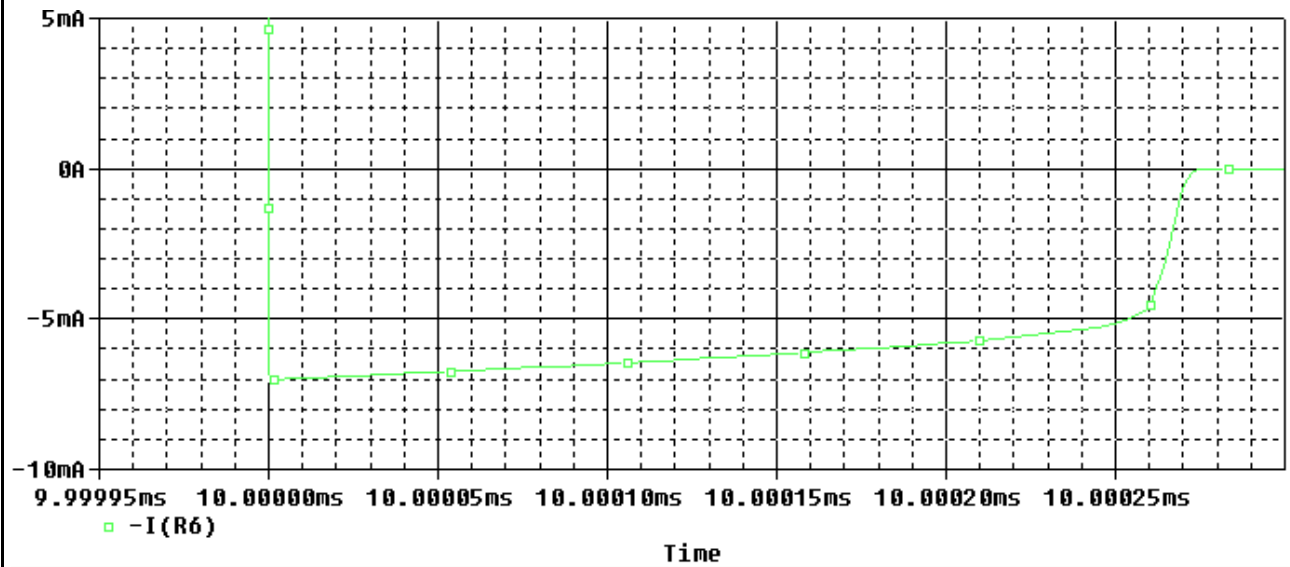
$$I_{rr} = I_{RM} * 0,25 = -0,95mA$$

$$t_{rr} = 400ns$$

$$Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} = \frac{1}{2} 3,80mA \cdot 400ns = 760 pC$$

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo		5R2	15
Guido, Martín Ramírez, Gabriela			

simulación



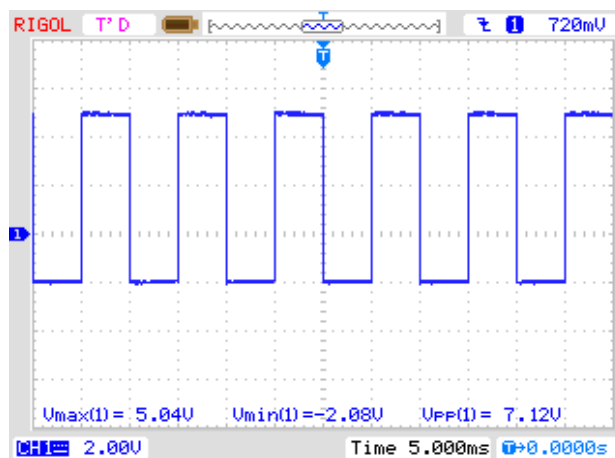
$$I_{RM} = \frac{-380mV}{100 \Omega} = -7mA$$

$$I_{rr} = I_{RM} * 0,25 = -1,75mA$$

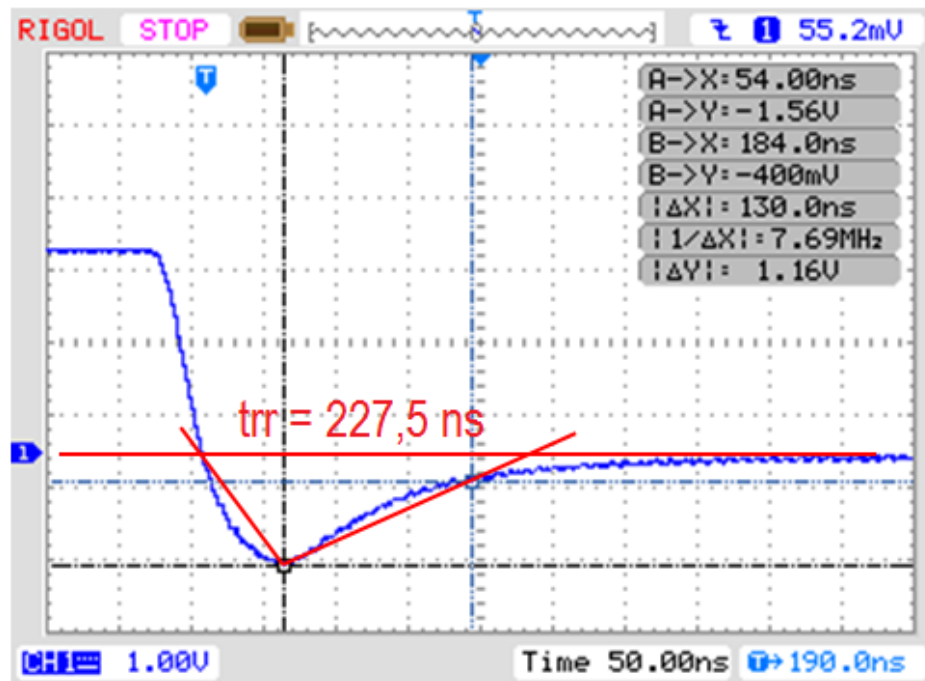
$$t_{rr} = 272ns$$

$$Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} + I_{RM} \cdot t_{rr} = \frac{1}{2} 2mA \cdot 250ns + 5mA \cdot 272ns = 1,61 nC$$

b) 5V/-2V



GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo	Guido, Martín Ramirez, Gabriela	5R2	16



$$I_{RM} = \frac{-1,56 V}{100 \Omega} = -15,6mA$$

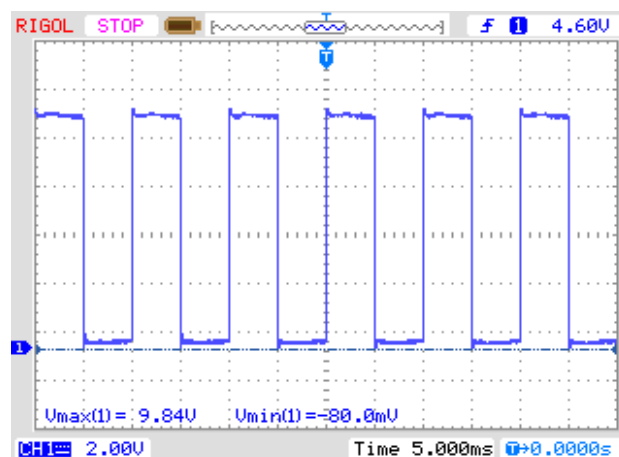
$$I_{rr} = I_{RM} * 0,25 = -3,9mA$$

$$t_{rr} = 227,5 ns$$

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

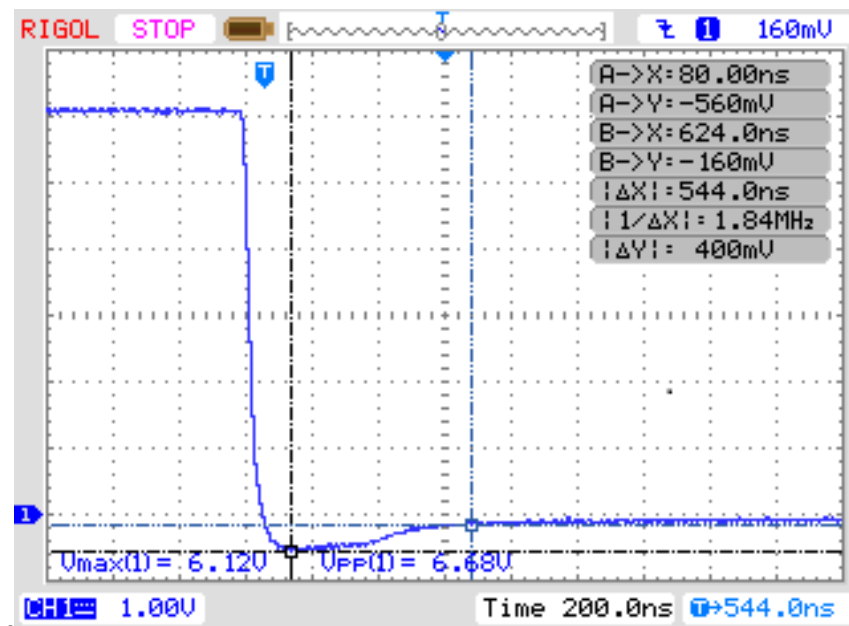
$$Q_{rr} = \frac{1}{2} \cdot 15,6mA \cdot 227,5 ns = 1,77 nC$$

c) 10V/0V





GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo		5R2	17
Guido, Martín Ramirez, Gabriela			



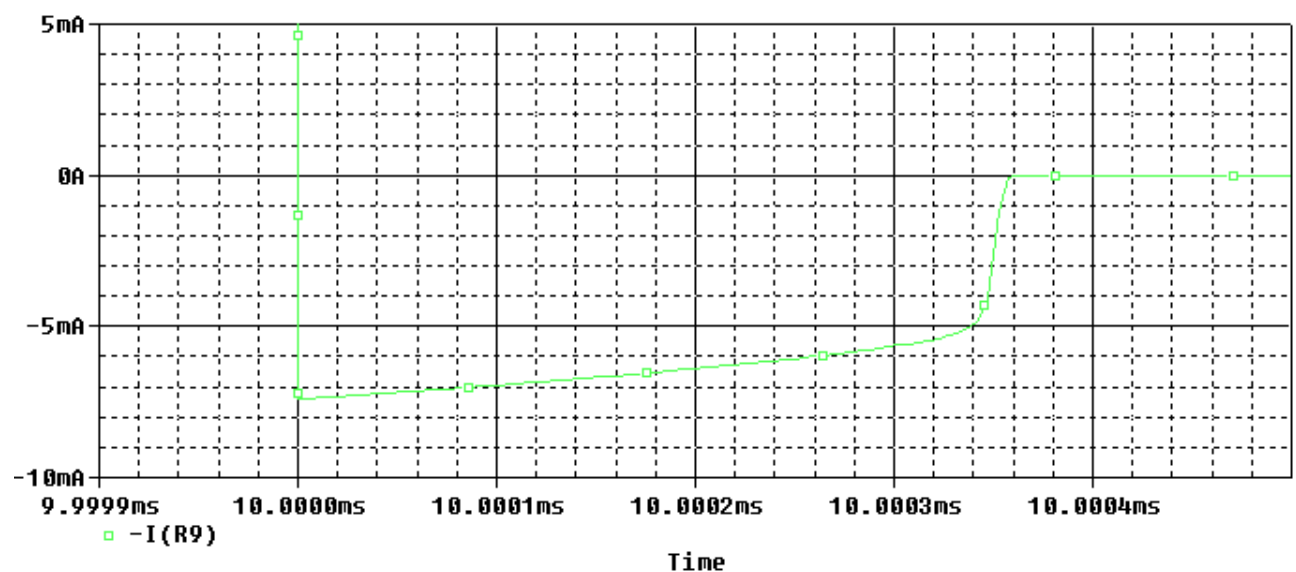
$$I_{RM} = \frac{-560mV}{100 \Omega} = -5,6mA$$

$$I_{rr} = I_{RM} * 0,25 = -1,4 mA$$

$$t_{rr} = 600ns$$

$$Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} = \frac{1}{2} 1,6mA \cdot 600 ns = 480 pC$$

### Simulación



$$I_{RM} = -7,2 mA$$

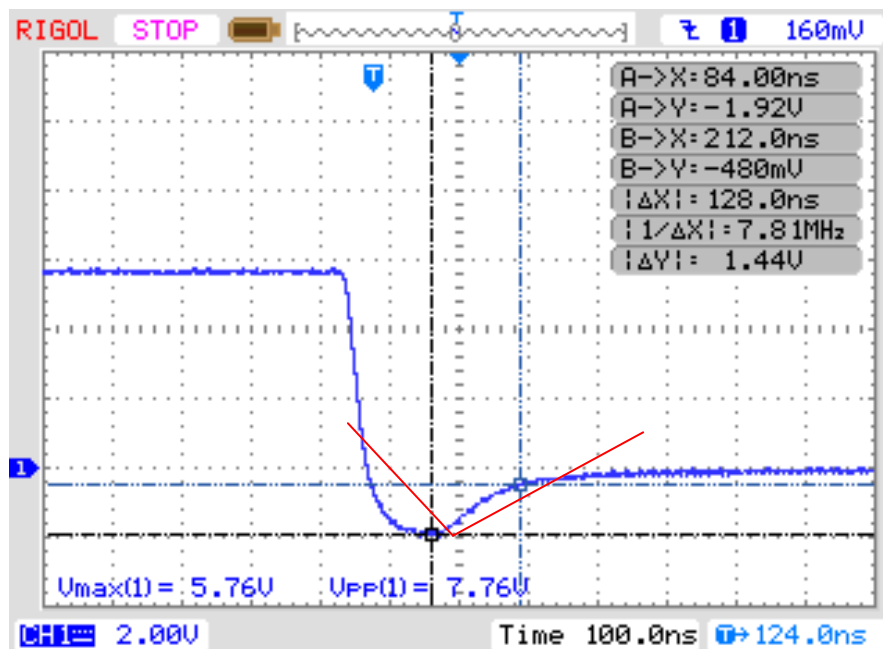
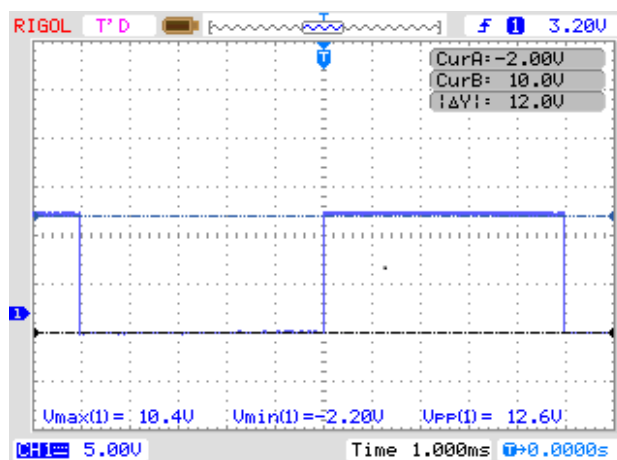
GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo		5R2	18
Guido, Martín Ramírez, Gabriela			

$$I_{rr} = I_{RM} \cdot 0,25 = -1,8 \text{ mA}$$

$$t_{rr} = 350 \text{ ns}$$


$$Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} + I_{RM} \cdot t_{rr} = \frac{1}{2} \cdot 2,2 \text{ mA} \cdot 340 \text{ ns} + 5 \text{ mA} \cdot 350 \text{ ns} = 2,12 \text{ nC}$$

d) 10 V/-2 V



$$I_{RM} = \frac{-1,92 \text{ V}}{100 \text{ } \Omega} = -19,2 \text{ mA}$$

$$I_{rr} = I_{RM} \cdot 0,25 = -4,8 \text{ mA}$$

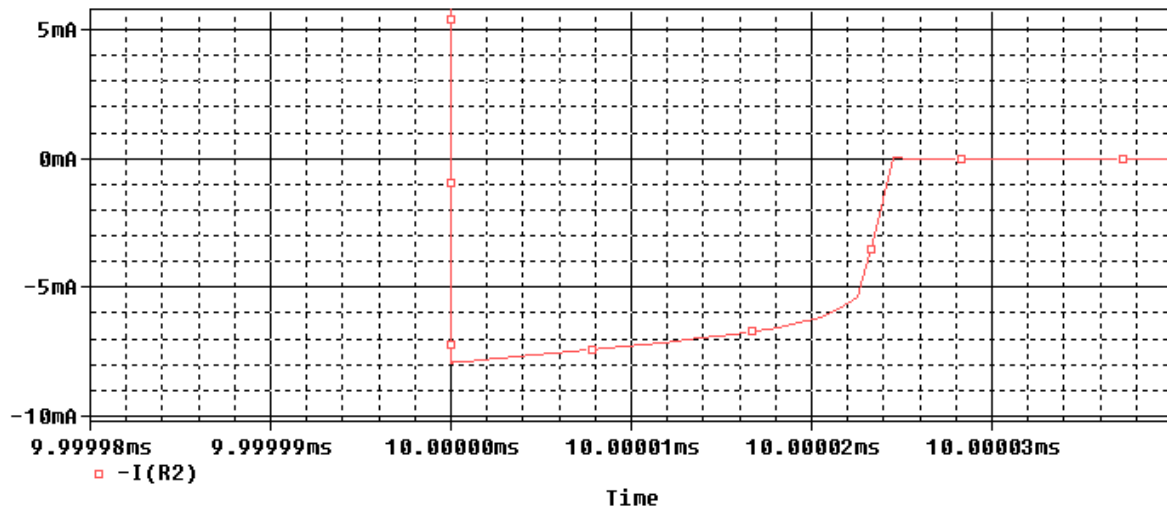
 <b>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL</b> <b>FACULTAD REGIONAL CORDOBA</b>		<b>ELECTRÓNICA DE POTENCIA</b>	
<b>GRUPO 2</b>		<b>CURSO</b>	<b>HOJA</b>
<b>Integrantes: Biolato, Laura</b> <b>Castro, Ricardo</b>	<b>Guido, Martín</b> <b>Ramirez, Gabriela</b>	<b>5R2</b>	<b>19</b>
$t_{rr} = 240ns$ $Q_{rr} = \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} = \frac{1}{2} 19,2mA \cdot 240 ns = 2,30nC$			

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo		5R2	20
Guido, Martín Ramírez, Gabriela			

### Diodo: 1N4148

No fue posible realizar las mediciones con el osciloscopio para este diodo, por lo que realizamos las simulaciones a través de ORCAD.

a) Tensión de alimentación: +5V/0V



$$I_{RM} = -8 \text{ mA}$$

$$I_{rr} = I_{RM} * 0,25 = -2 \text{ mA}$$

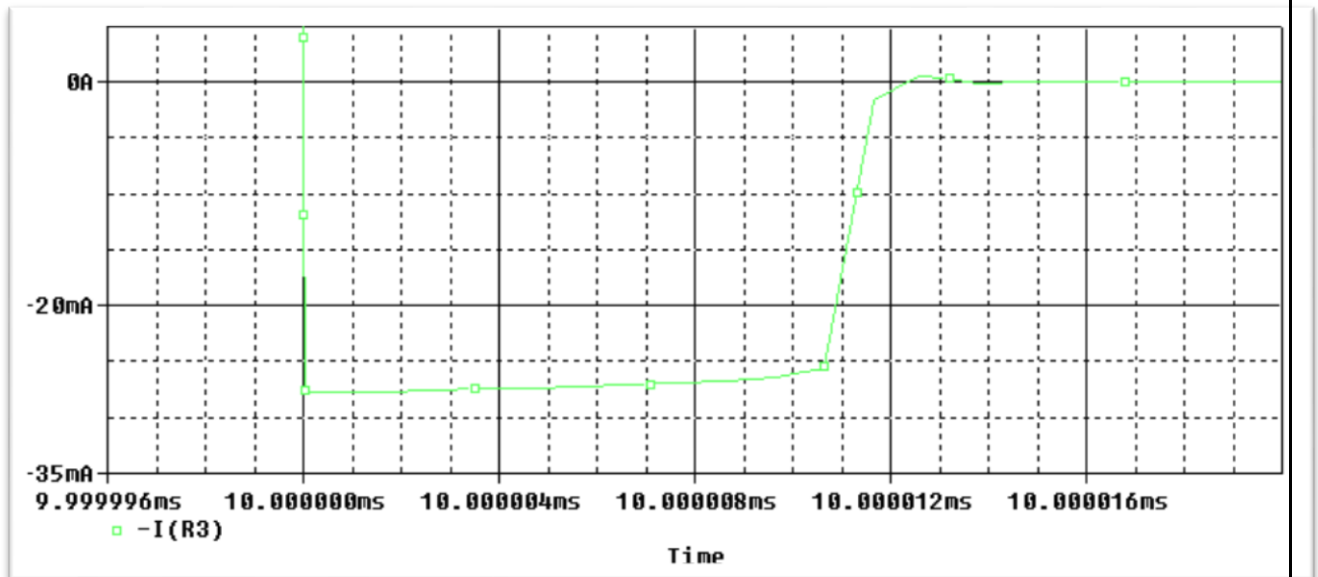
$$t_{rr} = 24 \text{ nS}$$

$$Q_{rr} = I_{RM} \cdot t_{rr} + \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} = 24 \text{ ns} \cdot 5 \text{ mA} + 0,5 \cdot 3 \text{ mA} \cdot 22 \text{ nS}$$

$$Q_{rr} = 153 \text{ pC}$$

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo	Guido, Martín Ramirez, Gabriela	5R2	21

b) 5V/-2V



$$I_{RM} = -27,5 \text{ mA}$$

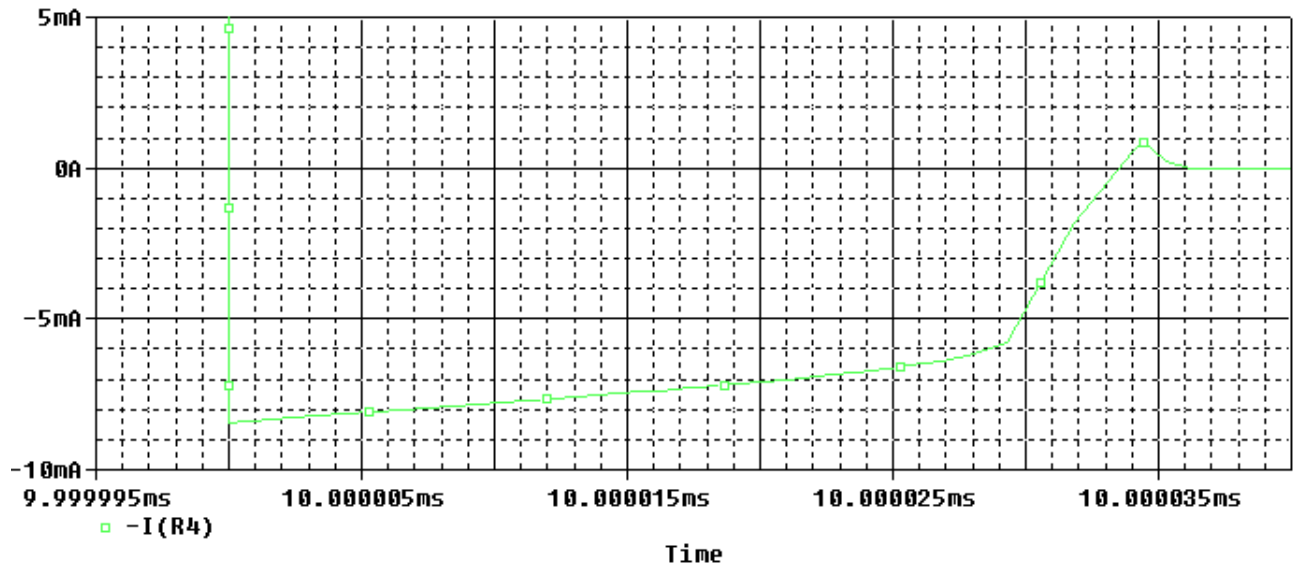
$$I_{rr} = I_{RM} \cdot 0,25 = -6,87 \text{ mA}$$

$$t_{rr} = 12 \text{ ns}$$

$$Q_{rr} = I_{RM} \cdot t_{rr} + \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} = 27,5 \text{ mA} \cdot 10,5 \text{ ns} + 0,5 \cdot 27,5 \text{ mA} \cdot 1 \text{ ns} = 302,5 \text{ pC}$$

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo		5R2	22
Guido, Martín Ramírez, Gabriela			

c) 10V/0V



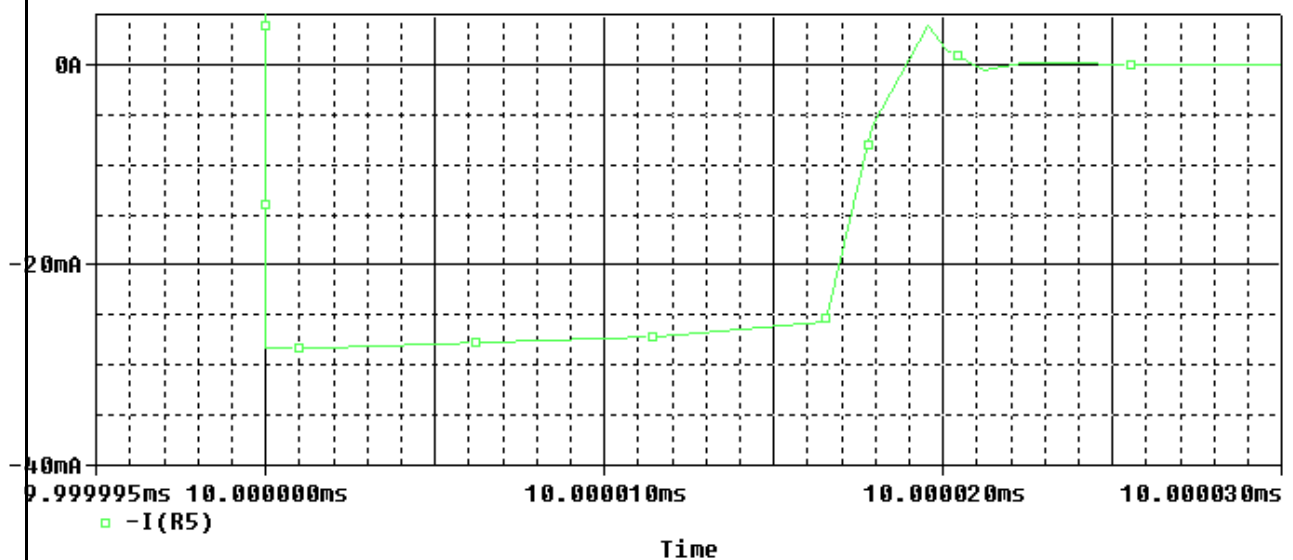
$$I_{RM} = -8,5 \text{ mA}$$

$$I_{rr} = I_{RM} \cdot 0,25 = -2,12 \text{ mA}$$

$$t_{rr} = 33 \text{ ns}$$

$$Q_{rr} = I_{RM} \cdot t_{rr} + 0,5 I_{RM} \cdot t_{rr} = 5 \text{ mA} \cdot 30 \text{ ns} + 0,5 \cdot 3,5 \text{ mA} \cdot 30 \text{ ns} + 0,5 \cdot 3 \text{ ns} \cdot 5 \text{ mA} = 210 \text{ pC}$$

d) 10 V/-2 V



GRUPO 2	CURSO	HOJA
<b>Integrantes: Biolato, Laura</b> <b>Castro, Ricardo</b>	<b>Guido, Martín</b> <b>Ramirez, Gabriela</b>	<b>5R2</b> <b>23</b>

$$I_{RM} = -27,5 \text{ mA}$$

$$I_{rr} = I_{RM} * 0,25 = -6,87 \text{ mA}$$

$$t_{rr} = 18 \text{ ns}$$

$$Q_{rr} = I_{RM} \cdot t_{rr} + \frac{1}{2} I_{RM} \cdot t_{rr} = 25 \text{ mA} \cdot 18 \text{ ns} + 0,5 \cdot 25 \text{ mA} \cdot 18 \text{ ns} = 471,25 \text{ pC}$$

GRUPO 2		CURSO	HOJA
Integrantes: Biolato, Laura Castro, Ricardo		5R2	24
Guido, Martín Ramírez, Gabriela			

### Conclusión

En primer lugar diremos que no es posible medir el tiempo de recuperación inversa del diodo 1N4148 con los instrumentos disponibles dado que el mismo es muy pequeño (4ns) respecto al tiempo de bajada del generador de funciones (aprox. 25 ns). Por este motivo a las medidas las realizamos en base a una simulación a través de PSpice. Por la rapidez que tiene dicho diodo es ampliamente utilizado en aplicaciones de conmutación.

A modo de resumen, se detallan los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

Tensión Diodo	A V= +5V/0V	B V= +5V/-2V	C V= +10V/0V	D V= +10V/-2V
1N5408	$t_{rr}=52\mu s$ $I_{rm}=-3,8mA$ $Q_{rr}=98,8nC$	$t_{rr}=20,2\mu s$ $I_{rm}=-16,8mA$ $Q_{rr}=169,68nC$	$t_{rr}=56\mu s$ $I_{rm}=-9,4mA$ $Q_{rr}=263,20nC$	$t_{rr}=29\mu s$ $I_{rm}=-18,8mA$ $Q_{rr}=377,9nC$
MUR 160	$t_{rr}=272 ns$ $I_{rm}=-7 mA$ $Q_{rr}=1,61nC$	$t_{rr}=227,5ns$ $I_{rm}=-15,6mA$ $Q_{rr}=1,77nC$	$t_{rr}=350ns$ $I_{rm}=-7,2 mA$ $Q_{rr}=2,12 nC$	$t_{rr}=240ns$ $I_{rm}=-19,2mA$ $Q_{rr}=2,30 nC$
1N4148	$t_{rr}=24ns$ $I_{rm}=-8mA$ $Q_{rr}=153 pC$	$t_{rr}=12 ns$ $I_{rm}=-27,5mA$ $Q_{rr}=302,5$	$t_{rr}=33 ns$ $I_{rm}=-8,5mA$ $Q_{rr}=210 pC$	$t_{rr}=18ns$ $I_{rm}=-27,5mA$ $Q_{rr}=471,25pC$

Las hojas de datos de estos diodos indican los siguientes tiempos de caída:

MUR 160: 75ns

1N4148: 4ns

Para el diodo 1N5408 no se especifica dicho valor porque se trata de un dispositivo rectificador de baja frecuencia para lo cual el valor del  $t_{rr}$  no tiene demasiada relevancia.

La diferencia entre los valores medidos y los dados por los fabricantes se deben a que las condiciones de prueba no son las mismas.

Del análisis y la comparación de los valores obtenidos para los diferentes diodos se puede decir que:

- Al aumentar la diferencia de potencial el tiempo de recuperación inversa disminuye.
- El orden de los diodos en cuanto a tiempo de recuperación inversa de menor a mayor es: 1n4148, MUR160, 1N5408.
- La carga de recuperación inversa aumenta al excitar el diodo con una señal bipolar.