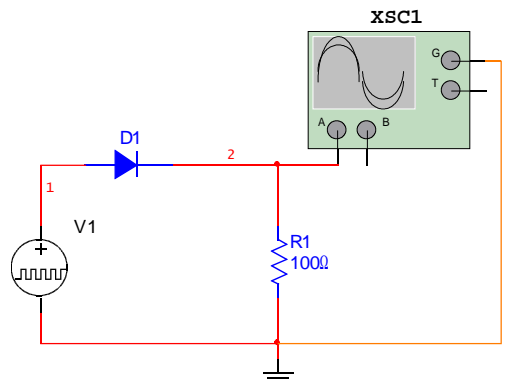




T.P.Nº1: Tiempo de recuperación en inversa del diodo

Con la implementación del circuito básico siguiente, realizamos las mediciones de tiempo de recuperación en inversa (t_{rr}) de tres diodos (1N5408, MUR160, 1N4148). Donde le inyectamos una señal de tipo cuadrada, con una frecuencia fija de 100 Hz y amplitudes variables, para observar como se comporta el dispositivo y extraer conclusiones.



Procedimiento

Como se mencionó anteriormente, consiste en la implementación del circuito para los diodos: **1N5408, MUR160, 1N4148**.

Donde inyectamos una señal del tipo cuadrada con una frecuencia fija de 100 Hz y con las siguientes amplitudes:

- Tensión de alimentación +5V / -0V.
- Tensión de alimentación +5V / -2V.
- Tensión de alimentación +10V / -0V.
- Tensión de alimentación +10V / -2V.

Como el tiempo de recuperación en inversa se mide 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 máxima. Entonces medimos con un osciloscopio digital la forma de onda en R_1 , centrándonos en el flanco descendente.

De manera que calculamos el 10% del pico máximo de la tensión inversa en R_1 :

$$V_{R1} = (-V_p) \cdot 10\%$$

Colocamos los cursores en “tensión” en el valor obtenido, cambiamos los cursores a “tiempo” y medimos el tiempo transcurrido desde que la tensión pasa por cero hasta V_{R1} .

Entonces:



- Tensión de alimentación +5V / -0V:

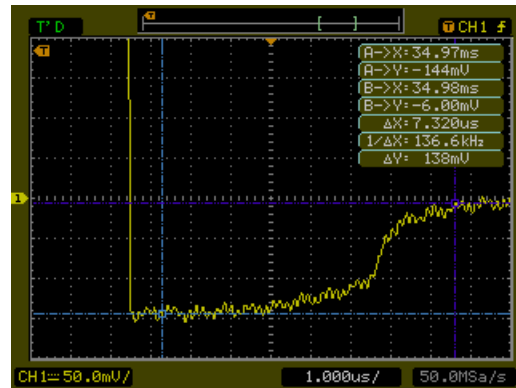
Diodo 1N5408:

$$V_{R1} = (-V_p) \cdot 10\%$$

$$\therefore V_{R1} = (-144mV)10\% = -14,4mV$$

Medimos :

$$\Delta t = 7,32\mu seg$$

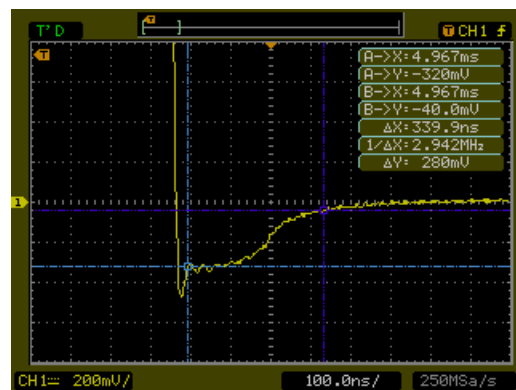


Diodo MUR160:

$$\therefore V_{R1} = (-480mV)10\% = -48mV$$

Medimos :

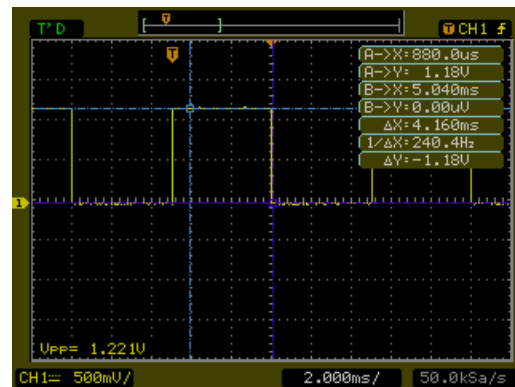
$$\Delta t = 340nseg$$





Diodo 1N4148:

Como observamos en la figura fue imposible medir un Δt .





- Tensión de alimentación +5V / -2V:

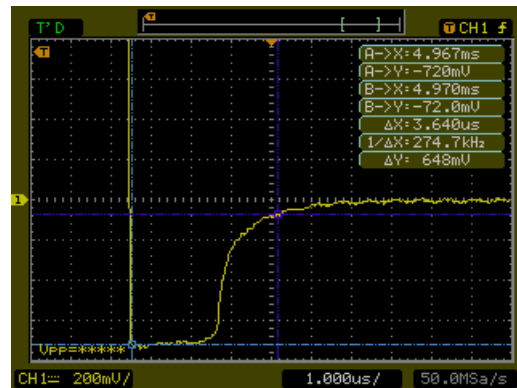
Diodo 1N5408:

$$V_{R1} = (-V_p) \cdot 10\%$$

$$\therefore V_{R1} = (-720mV)10\% = -72mV$$

Medimos :

$$\Delta t = 3,64\mu seg$$

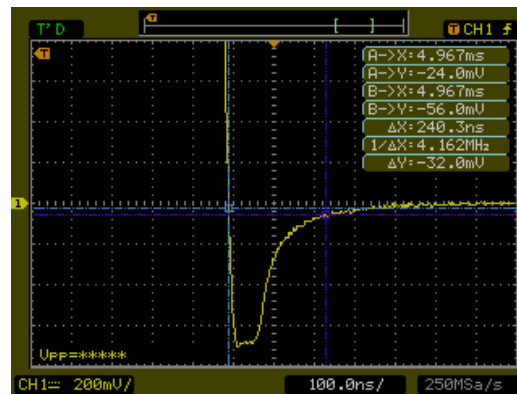


Diodo MUR160:

$$\therefore V_{R1} = (-688mV)10\% = -68,8mV$$

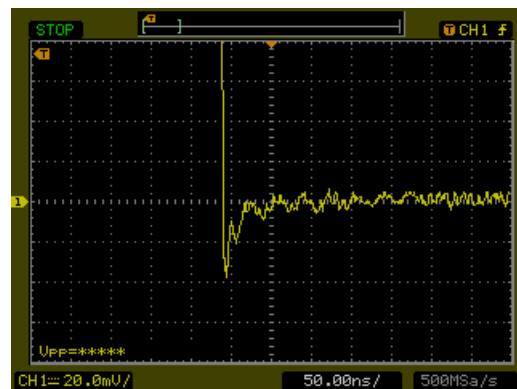
Medimos :

$$\Delta t = 240,3nseg$$



Diodo 1N4148:

Como observamos en la figura fue imposible medir un Δt .





- Tensión de alimentación +10V / -0V:

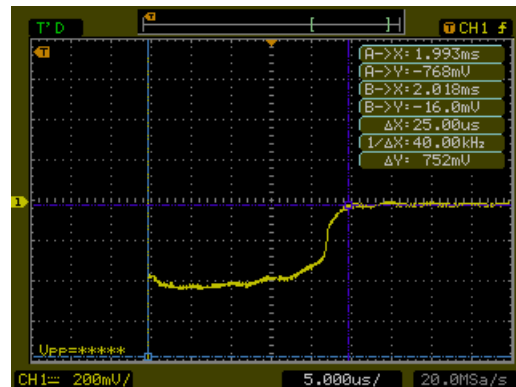
Diodo 1N5408:

$$V_{R1} = \left(-V_p \right) \cdot 10\%$$

$$\therefore V_{R1} = (-430V)10\% = -43mV$$

Medimos:

$$\Delta t = 25\mu\text{seg}$$

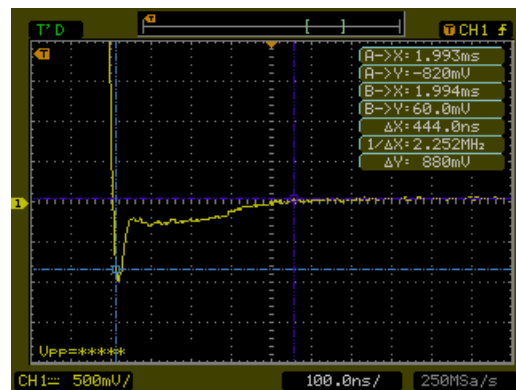


Diodo MUR160:

$$\therefore V_{R1} = (-240mV)10\% = -24mV$$

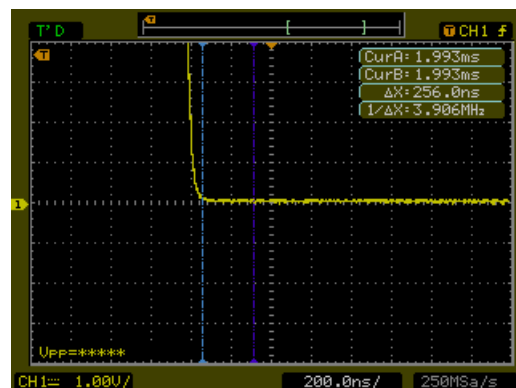
Medimos:

$$\Delta t = 440n\text{seg}$$



Diodo 1N4148:

Como observamos en la figura fue imposible medir un Δt .





- Tensión de alimentación +10V / -2V:

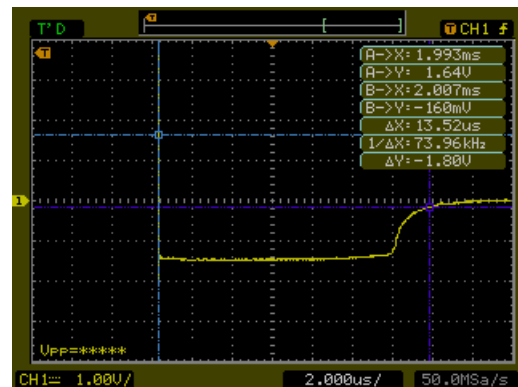
Diodo 1N5408:

$$V_{R1} = \left(-V_p \right) \cdot 10\%$$

$$\therefore V_{R1} = (-1,48V) 25\% = -148mV$$

Medimos:

$$\Delta t = 13,52\mu\text{seg}$$

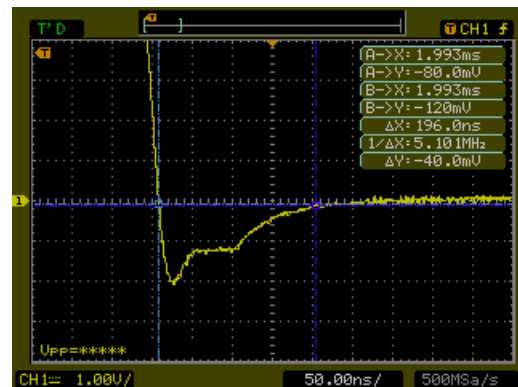


Diodo MUR160:

$$\therefore V_{R1} = (-1,64V) 10\% = -164mV$$

Medimos:

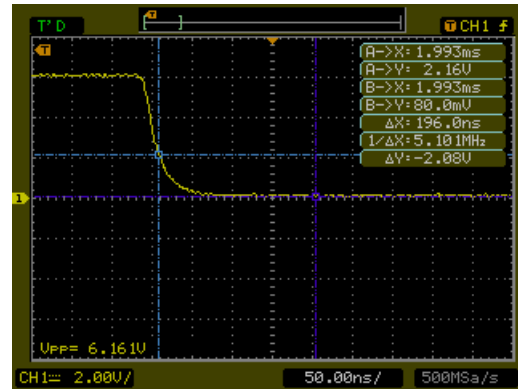
$$\Delta t = 196n\text{seg}$$





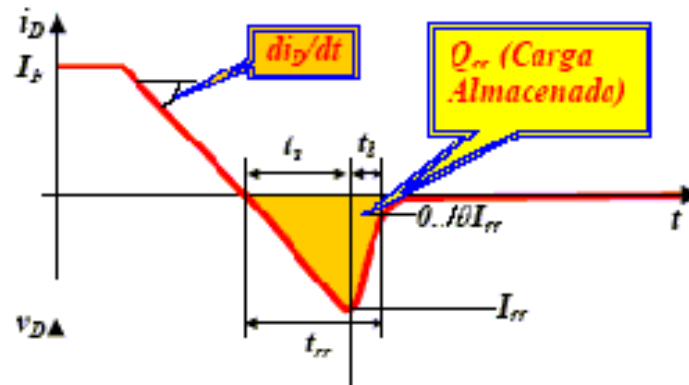
Diodo 1N4148:

Como observamos en la figura fue imposible medir un Δt .





Cálculo de Q_{rr}



Se asume que $t_{rr} = t_a$, ya que t_b es muy pequeño comparado a t_a , por lo tanto se puede calcular Q_{rr} , obteniendo el área del triángulo formada por t_{rr} y I_{rr} .

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

De esta forma obtenemos los siguientes valores de Q_{rr} en función de t_{rr} :



DIODO / TEN SIÓN	$V_i = +5 / - 0V$	$V_i = +5 / - 2V$	$V_i = +10 / - 0V$	$V_i = +10 / - 2V$
1N5408	$t_{rr} = 7,32\mu s$ $I_{rr} = -1,44mA$ $Q_{rr} = 5,27nC$	$t_{rr} = 3,64\mu s$ $I_{rr} = -7,2mA$ $Q_{rr} = 13,1nC$	$t_{rr} = 25\mu s$ $I_{rr} = -4,3mA$ $Q_{rr} = 54,75nC$	$t_{rr} = 13,52\mu s$ $I_{rr} = -14,8mA$ $Q_{rr} = 100nC$
MUR160	$t_{rr} = 340ns$ $I_{rr} = -4,8mA$ $Q_{rr} = 816pC$	$t_{rr} = 240,3ns$ $I_{rr} = -6,88mA$ $Q_{rr} = 826,63pC$	$t_{rr} = 440ns$ $I_{rr} = -2,4mA$ $Q_{rr} = 528pC$	$t_{rr} = 196ns$ $I_{rr} = -16,4mA$ $Q_{rr} = 1,6nC$
1N4148	$t_{rr} = ---$ $I_{rr} = ---$ $Q_{rr} = ---$	$t_{rr} = ---$ $I_{rr} = ---$ $Q_{rr} = ---$	$t_{rr} = ---$ $I_{rr} = ---$ $Q_{rr} = ---$	$t_{rr} = ---$ $I_{rr} = ---$ $Q_{rr} = ---$

Conclusiones

Teniendo en cuenta las hojas de datos de los diodos:

De las gráficas obtenidas y los valores de la tabla, deducimos que los siguientes factores influyen en el Tiempo de recuperación en inversa del diodo (t_{rr}):

- I_F : Cuanto mayor sea, mayor será t_{rr} . Esto se debe a que las cargas almacenadas serán mayores.
- V_R : Cuanto mayor sea, menor será t_{rr} . En este caso si la tensión inversa es mayor se necesita menos tiempo para evacuar los portadores almacenados.
- $d(I_F)/d(t)$: Cuanto menor sea esta pendiente, menor será t_{rr} . No obstante el aumento de esta pendiente aumentará el valor de la carga almacenada Q_{rr} . Esto producirá mayores pérdidas.
- T : Cuanto mayor sea la temperatura, aumentará tanto t_{rr} como Q_{rr} .

Por otro lado, comparando las hojas de datos de los diodos:



1N5408

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N 5400G	1N 5401G	1N 5402G	1N 5403G	1N 5404G	1N 5405G	1N 5406G	1N 5407G	1N 5408G	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	V
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	35	70	140	210	280	350	420	580	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1) @ $T_A = 55^\circ\text{C}$	I_O	3.0									A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	125									A
Forward Voltage @ $I_F = 3.0\text{A}$	V_{FM}	1.1									V
Peak Reverse Current @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ at Rated DC Blocking Voltage @ $T_A = 125^\circ\text{C}$	I_{RM}	5.0 100									μA
Reverse Recovery Time (Note 3)	t_{rr}	2.0									μs
Typical Total Capacitance (Note 2)	C_T	40									pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	32									$^\circ\text{C/W}$
Operating and Storage Temperature Range	T_j, T_{STG}	-65 to +150									$^\circ\text{C}$

- Notes:
- Valid provided that leads are kept at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
 - Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
 - Measured with $I_F = 0.5\text{A}$, $I_R = 1.0\text{A}$, $t_{rr} = 0.25\text{A}$.
 - RoHS revision 13.2.2003. Glass and High Temperature Solder Exemptions Applied, see EU Directive Annex Notes 5 and 7.

MUR160

TYPE NUMBER	SYMBOLS	MUR 105	MUR 110	MUR 115	MUR 120	MUR 130	MUR 140	MUR 160	UNITS	
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	150	200	300	400	600		
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	105	140	210	280	420	V	
Maximum D. C Blocking Voltage	V_{DC}	105	100	150	200	300	400	600	V	
Maximum Average Forward Rectified Current See fig. 1	$I_{F(AV)}$	1.0 @ $T_A = 110^{\circ}\text{C}$			1.0 @ $T_A = 100^{\circ}\text{C}$				A	
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms single half sine – wave superimposed on rated load (JEDEC method)	I_{FSM}	35								A
Maximum Instantaneous Forward Voltage 1.0A (Note 1)	V_F	0.975			1.25				V	
Maximum D. C Reverse Current @ $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ At Rated D. C Blocking Voltage @ $T_A = 100^{\circ}\text{C}$	I_R	2.0 50			5.0 150				μA μA	
Maximum Reverse Recovery Time (Note 2)	T_{RR}	25			50				nS	
Typical Junction Capacitance (Note 3)	C_J	25								pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient (Note 4)	$R_{\theta JA}$	50								$^{\circ}\text{C/W}$
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	– 65 to + 150								$^{\circ}\text{C}$

- NOTES:
- Pulse test: $t_p = 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$
 - Reverse Recovery Test Conditions: $I_F = 0.5\text{A}$, $I_R = 1.0\text{A}$, $I_{RR} = 0.25\text{A}$.
 - Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4.0V D.C.
 - Lead length = 3/8" on P.C. Board with 1.5" x 1.5" copper surface

Notamos que el diodo MUR160 respecto al diodo 1N5408, tiene mucho menor t_{rr} y convendría su uso debido a que las prestaciones de corriente y tensión son bastante parecidas.



1N4148

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_j = 25\text{ °C}$ unless otherwise specified.

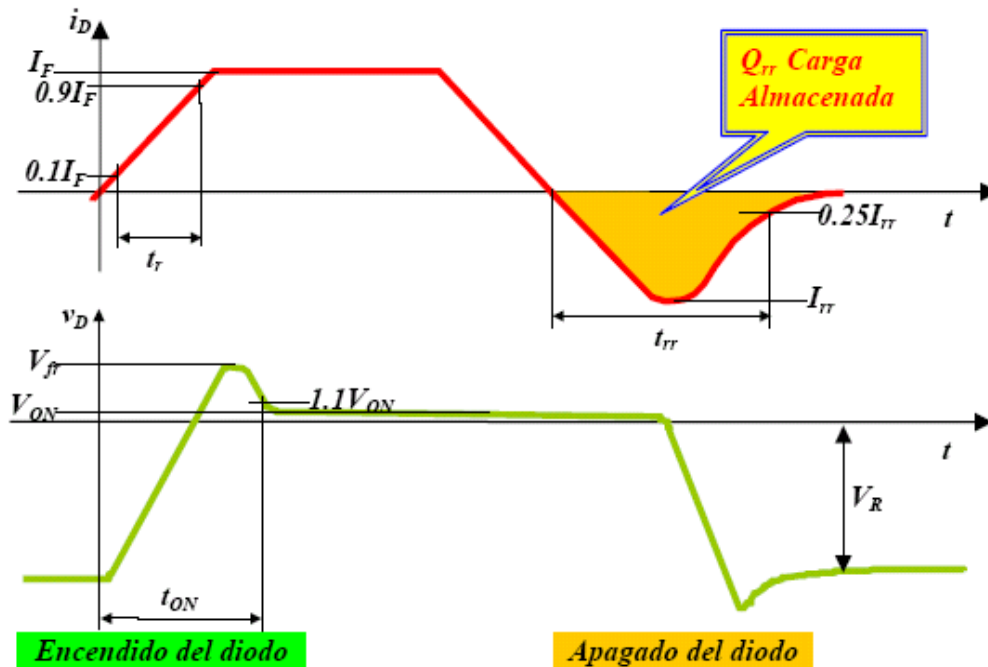
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_F	forward voltage	see Fig.3			
	1N4148	$I_F = 10\text{ mA}$	–	1	V
	1N4448	$I_F = 5\text{ mA}$	0.62	0.72	V
		$I_F = 100\text{ mA}$	–	1	V
I_R	reverse current	$V_R = 20\text{ V}$; see Fig.5		25	nA
		$V_R = 20\text{ V}$; $T_j = 150\text{ °C}$; see Fig.5	–	50	μA
I_R	reverse current; 1N4448	$V_R = 20\text{ V}$; $T_j = 100\text{ °C}$; see Fig.5	–	3	μA
C_d	diode capacitance	$f = 1\text{ MHz}$; $V_R = 0$; see Fig.6		4	pF
t_{rr}	reverse recovery time	when switched from $I_F = 10\text{ mA}$ to $I_R = 60\text{ mA}$; $R_L = 100\text{ }\Omega$; measured at $I_R = 1\text{ mA}$; see Fig.7		4	ns
V_{fr}	forward recovery voltage	when switched from $I_F = 50\text{ mA}$; $t_r = 20\text{ ns}$; see Fig.8	–	2.5	V

Con respecto a este, resultó ser un diodo muy rápido en t_{rr} , lo cual verifica que es un muy buen diodo para requerimientos de alta velocidad.



APÉNDICE A:

Conceptos y definiciones para tener en cuenta o repasar:

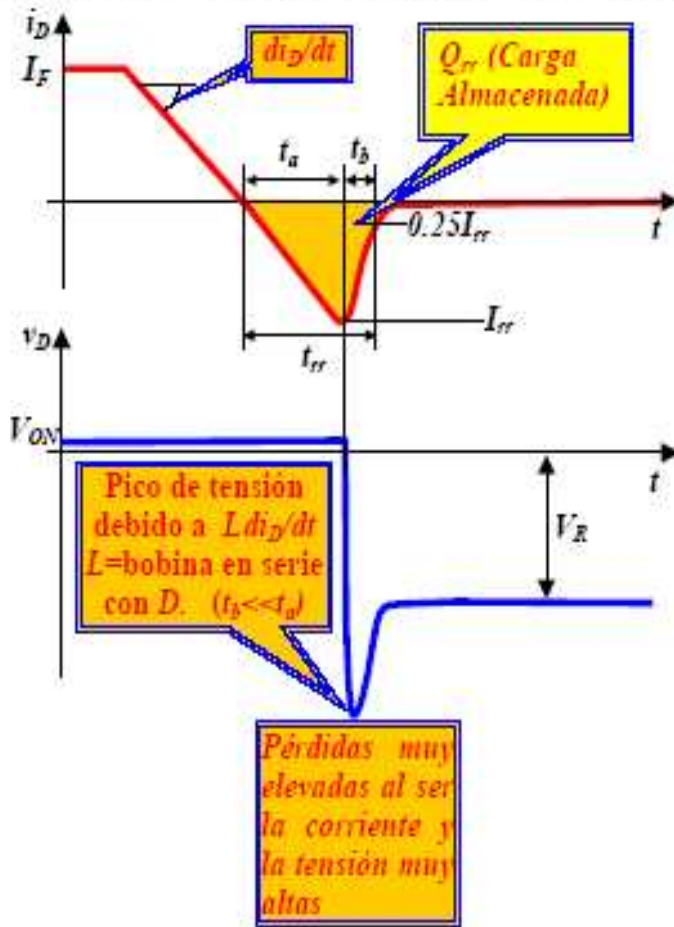


Curvas de tensión y corriente del diodo durante la conmutación.

- **Tensión directa**, V_{ON} . Caída de tensión del diodo en régimen permanente para la corriente nominal.
- **Tensión de recuperación directa**, V_{fr} . Tensión máxima durante el encendido.
- **Tiempo de recuperación directa**, t_{ON} . Tiempo para alcanzar el 110% de V_{ON} .
- **Tiempo de subida**, t_r . Tiempo en el que la corriente pasa del 10% al 90% de su valor directo nominal. Suele estar controlado por el circuito externo (inductivo).
- **Tiempo de recuperación inversa**, t_{rr} . Tiempo que durante el apagado del diodo, tarda la intensidad en alcanzar su valor máximo (negativo) y retornar hasta un 25% de dicho valor máximo. (Tip. $10\mu s$ para los diodos normales y $1\mu s$ para los diodos rápidos (corrientes muy altas).



El tiempo de recuperación inversa es el mayor de los dos tiempos de conmutación y el responsable de la mayor parte de las pérdidas de conmutación.



Curvas de tensión y corriente del diodo durante la conmutación a corte.

Si un diodo está polarizado en directa mediante una fuente de alimentación de valor V_F y una resistencia R , y de una forma brusca se cambia el valor y el sentido de una fuente de tensión a $(-V_R)$, el diodo evoluciona hacia inversa. Dicha evolución viene representada por un tiempo característico denominado tiempo de almacenamiento, que depende tanto del valor de la vida media de los portadores minoritarios en las dos regiones de la unión, como de los niveles de tensión V_F y V_R . La situación provoca un movimiento de carga, en concreto, hace que la carga de las zonas neutras empiece a menguar. El tiempo necesario para eliminar la carga es finito, esto hace que la respuesta del diodo en términos de tensión no sea instantánea. t_s está generado por el almacenamiento de carga en la región de agotamiento de la unión y t_f es debido al almacenamiento de carga en el material del cuerpo semiconductor.