

Tema 4. Protección de Circuitos

- Causas
- Dispositivos de protección
 - Protección contra sobre-tensiones
 - Varistores, MOV
 - Diodos avalancha y zener
 - Protección contra sobre-intensidades
 - Fusibles
 - PTC, fusibles rearmables
- Aislamiento
- Instalacion Eléctrica BT

Bibliografía

“Protection of Electronic Circuits”, R.Standler, Dover Publications

‘‘<http://en.wikipedia.org>’’

‘‘<http://www.littlefuse.com>’’

Los circuitos con elementos semiconductores son muy vulnerables y cada vez son más empleados.

Amenazas (*threats*)

- caída de rayo (*lightning*) en la proximidad de un conductor.
- pulso electromagnético de elevada energía (*EMP: Electro-Magnetic Pulse*)
- descarga electrostática (*ESD: Electrostatic Discharge*)
- conmutación de cargas inductivas.

	Voltage	Current	Rise-time	Duration
lightning	25kV	20kA	10us	1m
switching	600V	500A	50us	500ms
EMP	1kV	10A	20ns	1ms
ESD	15kV	30A	<1ns	100ns

Escenarios (*environments*)

- Sobretensiones líneas telefónicas
 - largas distancias

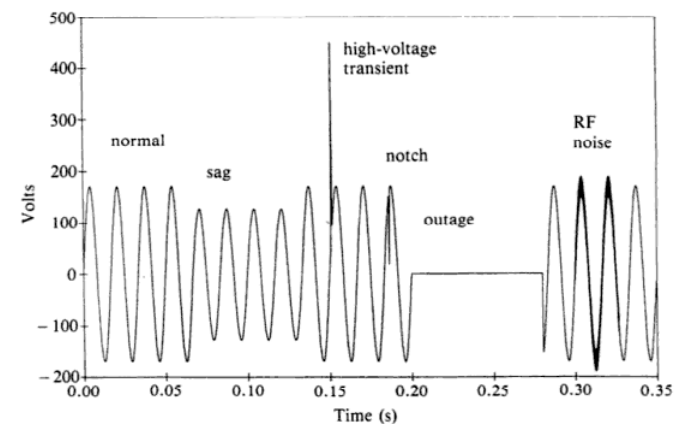
- líneas en postes o subterráneas
- rayo directo o inducida por rayo cercano
- protección centrales y abonado

■ Sobretensiones líneas de datos

- conexiones entre edificios
- variaciones del potencial de tierra.
Tras la caída de un rayo, debido elevada corriente y conductividad del terreno.

■ Perturbaciones red eléctrica

- la más estudiada
- definición de **perturbación** (*disturbance*):
 $|V(t) - V_p \sin(\omega t + \Phi)| > V_p/4$

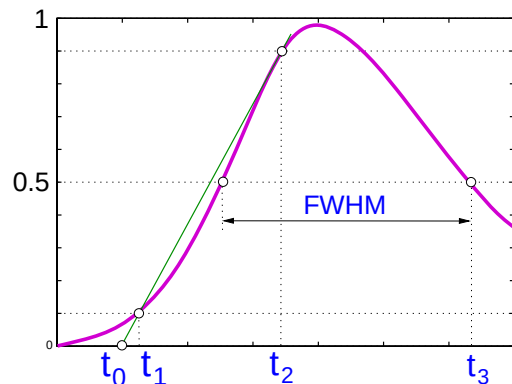


- *overvoltage*, cuando la magnitud excede $1,25 V_p$. La duración es inferior a un

ciclo. Cuando supera $2 V_p$ se denomina *high voltage transient* o *surge*

- *notch*, cuando la magnitud decrece bruscamente durante un intervalo inferior al ciclo.
- *swell*, crecimiento anormal del valor rms. Por tanto existe un incremento de la amplitud durante más de medio ciclo.
- *outage*, decrecimiento anormal del valor rms. Por tanto existe un decremento de la amplitud durante más de medio ciclo. Dependiendo de la duración/gravedad se emplean los terminos: *brownout/sag*, *blackout*

Veamos algunos parámetros usados normalmente:

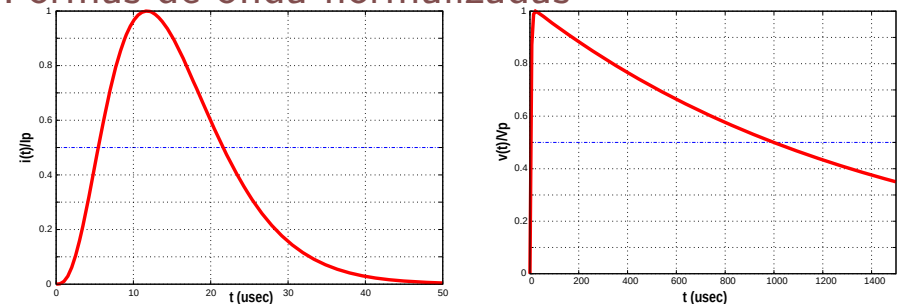


- t_0 : *virtual origin*, definido empleando los

tiempos del 10 % y 90 % del valor de pico.

- $t_2 - t_1$: *rise time*
- $1,25(t_2 - t_1)$: *front time*, se emplea como alternativa del anterior
- $t_3 - t_0$: *time to half-value*, se emplea como medida de la duración de la perturbación
- **FWHM: Full Width Half Maximum**, es otra medida de la duración de la perturbación.

Formas de onda normalizadas



- *8/20μsec current waveform*, esta curva se emplea para modelar las corrientes asociadas a la caída del rayo.

$$i(t) = A I_p t^3 \exp(-t/\tau)$$

Tiene aproximadamente: $8\mu\text{secs}$ de *front time*, $20\mu\text{secs}$ de *half value* y la transfe-

rencia de carga es $\Delta Q = 1,746 \cdot 10^{-5} I_p$

- $10/1000\mu sec$ voltage waveform,

$$v(t) = AV_p [1 - \exp(-t/\tau_1) \exp(-t/\tau_2)]$$

Se emplea en perturbaciones unipolares de larga duración.

Acciones La protección contra corrientes de fallo se puede realizar mediante:

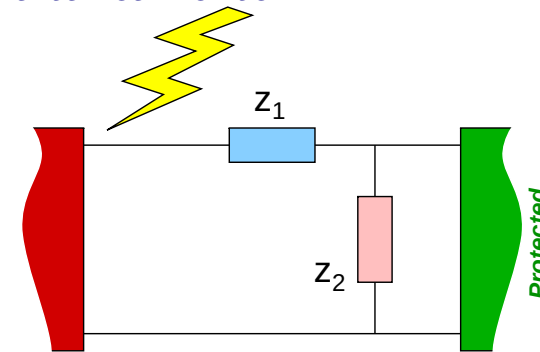
- bloqueando o limitando (*block* o *limiter*), mediante una alta impedancia serie, Z_1
- desviando (*diverter* o *arrester*), mediante una baja impedancia, Z_2

Podemos analizarlo como:

- divisor de tensiones, sin atenuación en funcionamiento normal, pero elevada atenuación durante el transitorio. Emplear dispositivos no lineales para Z_2 permite limitar la tensión.

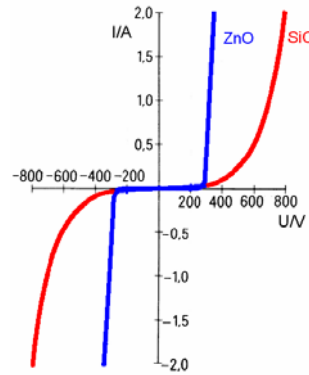
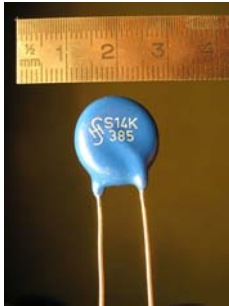
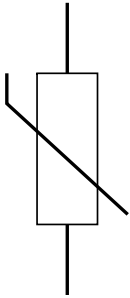
- divisor de corriente, en funcionamiento normal Z_2 no conduce, mientras que cuando existe fallo presenta una baja impedancia que retorna la corriente.

Ambos efectos son complementarios, pudiendo usarse simultáneamente.



1. Protección Sobretensiones

1.1. MOV Metal Oxide Varistor



- dispositivo bipolar capaz de disipar elevadas energías
- originalmente se fabricaban de carburo de silicio (SiC), en la actualidad son de óxido de Zinc (ZnO).
- Se coloca en **paralelo** a los terminales del dispositivo a proteger. No presenta conducción apreciable mientras la tensión aplicada es inferior a un umbral (V_c). Al superar el umbral, se comporta como una **baja impedancia** (fija la tensión y deriva la corriente)

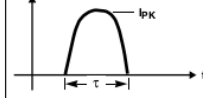
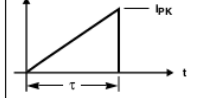
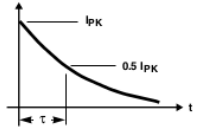
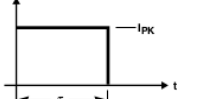
■ Especificaciones

- V_M , *operating voltage*, tensión que permite el funcionamiento en régimen permanente. Se suele especificar AC y DC. Las fugas son despreciables
- I_{TM} , *transient peak current*, es la máxima corriente no repetitiva de una onda 8/20 μs
- W_{TM} , *transient energy*, máxima energía que puede admitir.

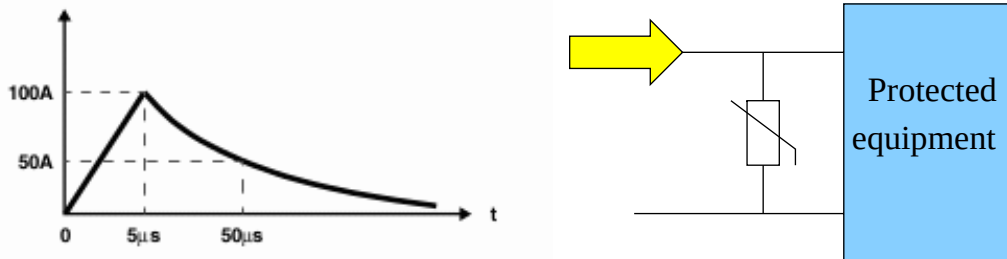
$$W_{TM} = \int V(t) I(t) dt \simeq V_c k I_1 \tau$$
- V_c , *clamping voltage*, tensión cuando entra en conducción, suele expresarse en función de una onda 8/20 μs
- **capacidad**, aumenta con el tamaño del disco
- **tiempo de respuesta** por debajo del $nseg$, cuidado con el efecto inductivo ($di(t)/dt$) de terminales y pistas
- **envejecimiento**: cada vez que se activan (derivando corriente) se van degradando. Cuanto mayor sea la energía admisible, mayor duración tienen.

 LEAD-FREE AND RoHS COMPLIANT MODELS		STANDARD MODELS		MODEL SIZE DISC DIA. (mm)	MAXIMUM RATING (85°C)				SPECIFICATIONS (25°C)				
					CONTINUOUS		TRANSIENT		VARISTOR VOLT- AGE AT 1mA DC TEST CURRENT		MAXIMUM CLAMPING VOLTAGE 8 x 20µs		TYPICAL CAPACI- TANCE f = 1MHz
					V _{RMS}	V _{DC}	ENERGY 10 x 1000µs	PEAK CURRENT 8 x 20µs					
					PART NUMBER	BRANDING	PART NUMBER	BRANDING	V _{M(AC)} (V)	V _{M(DC)} (V)	W _{TM} (J)	I _{TM} (A)	V _{NOM} MIN (V)
V250LA2P	P2502	V250LA2	2502	7	250	330	21	1200	354	473	730	10	90
V250LA4P	P2504	V250LA4	2504	7	250	330	21	1200	354	429	650	10	90
V250LA10P	P250L	V250LA10	250L	10	250	330	40	2500	354	429	650	25	220
V250LA20AP	P250L20	V250LA20A	250L20	14	250	330	72	4500	354	429	650	50	500
V250LA40AP	P250L40	V250LA40A	250L40	20	250	330	130	6500	354	429	650	100	1000
V250LA40BP	P250L40B	V250LA40B	250L40B	20	250	330	130	6500	354	413	620	100	1000
V275LA2P	P2752	V275LA2	2752	7	275	369	23	1200	389	515	775	10	80
V275LA4P	P2754	V275LA4	2754	7	275	369	23	1200	389	473	710	10	80
V275LA10P	P275L	V275LA10	275L	10	275	369	45	2500	389	473	710	25	200
V275LA20AP	P275L20	V275LA20A	275L20	14	275	369	75	4500	389	473	710	50	450
V275LA40AP	P275L40	V275LA40A	275L40	20	275	369	140	6500	389	473	710	100	900
V275LA40BP	P275L40B	V275LA40B	275L40B	20	275	369	140	6500	389	453	680	100	900

$$\int_0^T I(t) dt = K \tau I_{PK}$$

WAVESHAPE	EQUATION	K†
	$I_{PK} \sin\left(\frac{t}{\tau}\right)$	0.637
	$I_{PK} \left(\frac{t}{\tau}\right)$	0.5
	$I_{PK} e^{-t/1.44\tau}$	1.4
	I_{PK}	1.0

Selección de un varistor



Vamos a realizar como ejercicio la selección de un varistor que se colocará a la entrada de un sistema conectado a la red eléctrica.

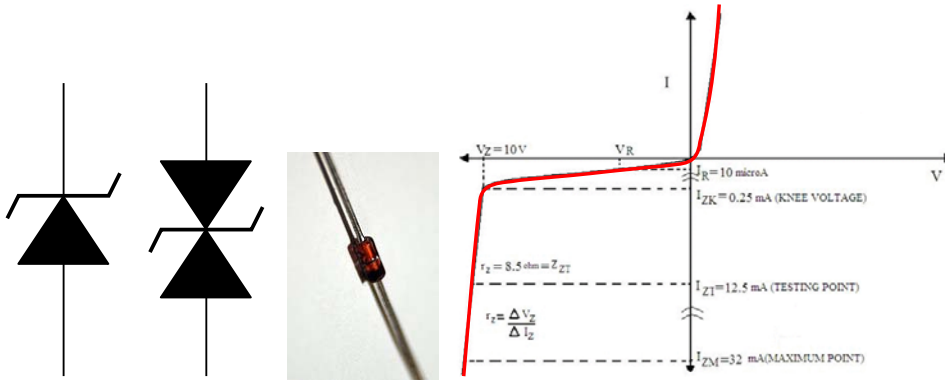
normales nunca debe de ser superada. Calculamos un 110 % de los 230v y seleccionamos $V_M = 275v$.

- A continuación vamos a calcular la energía que debe de absorber. Para ello consideramos que mantiene la tensión $V_c = 710v$ y desvía toda la corriente, dividiendo la integral en dos formas de onda:

$$E = E_1 + E_2 = 0,5 \cdot 710v \cdot 100A \cdot 5\mu seg + 1,4 \cdot 710v \cdot 100A \cdot 45\mu seg = 4,65J$$

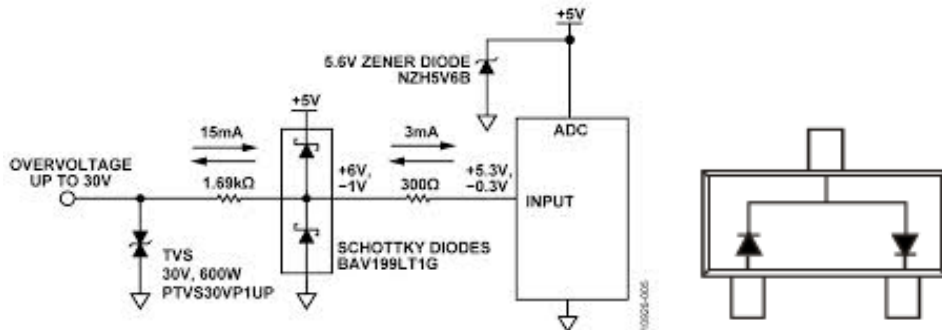
- Es necesario seleccionar la tensión de funcionamiento nominal (V_M), en condiciones

1.2. Diodos Zener y Avalancha



diodo zéner tiene la misma funcionalidad de un diodo, pero además dispone de una zona de conducción en inversa, donde la tensión presenta pequeñas variaciones.

clamping diodes, son parejas de diodos (de tipo schottky y a menudo compartiendo encapsulado SOT-23 de 3 pines), que garantiza que una señal se encuentra entre vcc y gnd.



TVS: Transient Voltage Suppression diode, cuando es necesario derivar una corriente elevada. Pueden ser de tipo unidireccional o bidireccional, siendo una de las diferencias fundamentales la capacidad de admitir elevadas corrientes en reducidos tiempos.

Especificaciones

- **V_z : breakdown voltage**, se suelen especificar parejas $V_z @ I_z$. Mientras esté en avalancha, la caída es aproximadamente $\pm 5\%$.
- **power rating**, la potencia disipada permite obtener los límites de funcionamiento:

$$P_d = V_f I_f^{max} = V_z I_z^{max}$$

- **failure modes**, a menudo los diodos quedan CC al fallar.
- no muestran degradación después de un prolongado servicio

Type Number (Note 4)	Marking Codes	Zener Voltage Range (Note 5)				Maximum Zener Impedance (Note 4)			Maximum Reverse Current (Note 5)		Typical Temperature Coefficient @ I _{ZTC} mV/°C		Test Current I _{ZTC}
		V _Z @ I _{ZT}			I _{ZT}	Z _{ZT} @ I _{ZT}	Z _{ZK} @ I _{ZK}	I _{ZK}	I _R	@ V _R	Min	Max	
		Nom (V)	Min (V)	Max (V)	mA	Ω		mA	μA	V			mA
BZT52C2V0	WY	2.0	1.91	2.09	5	100	600	1.0	150	1.0	-3.5	0	5
BZT52C2V4	WX	2.4	2.2	2.6	5	100	600	1.0	50	1.0	-3.5	0	5
BZT52C2V7	W1	2.7	2.5	2.9	5	100	600	1.0	20	1.0	-3.5	0	5
BZT52C3V0	W2	3.0	2.8	3.2	5	95	600	1.0	10	1.0	-3.5	0	5
BZT52C3V3	W3	3.3	3.1	3.5	5	95	600	1.0	5.0	1.0	-3.5	0	5
BZT52C3V6	W4	3.6	3.4	3.8	5	90	600	1.0	5.0	1.0	-3.5	0	5
BZT52C3V9	W5	3.9	3.7	4.1	5	90	600	1.0	3.0	1.0	-3.5	0	5
BZT52C4V3	W6, UB	4.3	4.0	4.6	5	90	600	1.0	3.0	1.0	-3.5	0	5
BZT52C4V7	W7	4.7	4.4	5.0	5	80	500	1.0	3.0	2.0	-3.5	0.2	5
BZT52C5V1	W8	5.1	4.8	5.4	5	60	480	1.0	2.0	2.0	-2.7	1.2	5
BZT52C5V6	W9	5.6	5.2	6.0	5	40	400	1.0	1.0	2.0	-2	2.5	5

Zener diodes, $P_D = 500mW$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted)									
JEDEC TYPE NUMBER	GENERAL SEMICONDUCTOR PART NUMBER	BREAKDOWN VOLTAGE V_{BR} AT $I_T^{(1)}$ (V)		TEST CURRENT I_T (mA)	STAND-OFF VOLTAGE V_{WM} (V)	MAXIMUM REVERSE LEAKAGE AT V_{WM} $I_D^{(4)}$ (μA)	MAXIMUM PEAK PULSE CURRENT $I_{PPM}^{(2)}$ (A)	MAXIMUM CLAMPING VOLTAGE AT I_{PPM} V_C (V)	MAXIMUM TEMP. COEFFICIENT OF V_{BR} (%/°C)
		MIN.	MAX.						
1N6267	(+) $1.5KE6.8$	6.12	7.48	10	5.50	1000	139	10.8	0.057
1N6267A	(+) $1.5KE6.8A$	6.45	7.14	10	5.80	1000	143	10.5	0.057
1N6268	(+) $1.5KE7.5$	6.75	8.25	10	6.05	500	128	11.7	0.061
1N6268A	(+) $1.5KE7.5A$	7.13	7.88	10	6.40	500	133	11.3	0.061
1N6269	(+) $1.5KE8.2$	7.38	9.02	10	6.63	200	120	12.5	0.065
1N6269A	(+) $1.5KE8.2A$	7.79	8.61	10	7.02	200	124	12.1	0.065
1N6270	(+) $1.5KE9.1$	8.19	10.0	1.0	7.37	50	109	13.8	0.068
1N6270A	(+) $1.5KE9.1A$	8.65	9.55	1.0	7.78	50	112	13.4	0.068
1N6271	(+) $1.5KE10$	9.00	11.0	1.0	8.10	10	100	15.0	0.073
1N6271A	(+) $1.5KE10A$	9.50	10.5	1.0	8.55	10	103	14.5	0.073

TransZorbs TVS, $P_D = 6,5w$, $P_{PPM} = 1500w$

2. Protección Sobreintensidades

2.1. *fuse*-fusible

Un fusible es una protección ante sobrecorriente, su misión es interrumpir la corriente (del circuito a proteger) cuando se detecta un exceso en la misma.

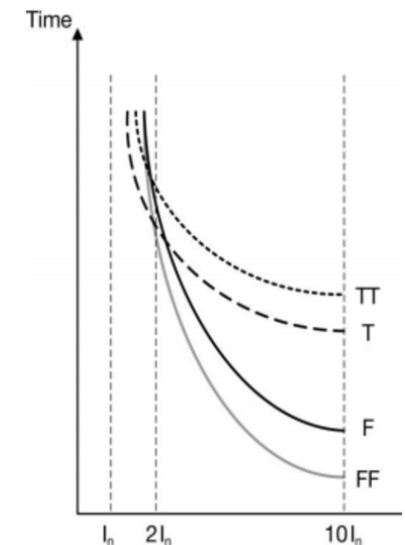


- elemento conductor de dos terminales, de sección reducida, encapsulado (no inflamable).
- Se coloca en *serie* con el elemento a proteger. Permite conducción por debajo de un cierto umbral, cuando lo supera, la energía térmica provoca una *alta impedancia* (fusión del elemento y apertura del circuito).
- Idealmente el fusible es capaz de soportar sobrecorrientes transitorias sin deteriorarse.
- Suele estar aislado de las condiciones ambientales que modificarían su comportamiento (oxidación, . . .).

Especificaciones

- I_N *rated current*, es la máxima corriente que puede conducir sin abrir
- *rated voltage*, tensión en abierto que soporta sin que aparezca un arco.
- *breaking capacity*, máxima corriente que es capaz de interrumpir.
- *speed/opening time*: no es intervalo exacto, aunque decrece al aumentar la corriente. Nominalmente:

- *standard fuse*:
1sec @ $(2xI_N)$
- *fast-blow* (F, FF):
0,1sec @ $(2xI_N)$,
semiconductores
- *slow-blow* (T, TT):
10sec @ $(2xI_N)$,
motores



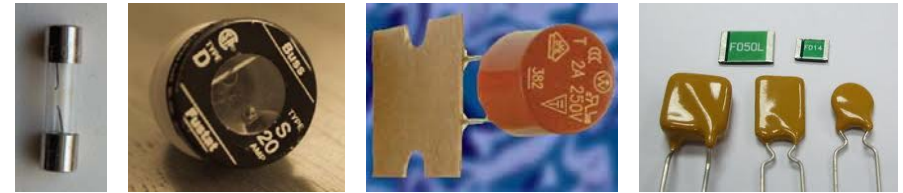
- **voltage drop**, normalmente es un efecto de segundo orden
- **melting I^2t** , cantidad de energía necesaria para comenzar la fusión o para que desaparezca la falta (clearing I^2t).
- **temperature re-rating**, la temperatura ambiente modifica la corriente nominal

Encapsulado

- **cartridge fuses**, son cilíndricos con terminales en los extremos. Los extremos pueden ser de distintos tamaños para evitar equivocaciones (*bottle fuses*)
- **blade fuses**, con terminales planos. Pueden tener *axial leads* para soldarlos.



- Para detectar visualmente su estado: ventana para inspección o *striker pin* que sobresale del terminal cuando está fundido



2.2. *Resettable fuse*-Fusibles rearmables

- es un dispositivo no lineal cuya resistencia aumenta en caso de sobrecorriente (*PTC Positive Temperature Coefficient*).
- no es necesario reemplazarlos (PC-97 y aeroespacial), disponibles en SMD
- cuando la corriente sobrepasa un nivel, su resistencia aumenta considerablemente (varios órdenes de magnitud), provocando una disminución de la corriente. Cuando desaparece el fallo, y el PTC se enfría, se retoma el estado original.
- Especificaciones
 - *hold current*, funcionamiento nominal
 - *trip current*, mínima corriente que provoca el cambio de resistencia
 - *maximum voltage/current*

% of Ampere Rating	Ampere Rating	Opening Time	Amp Code	Amp Rating (A)	Voltage Rating (V)	Interrupting Rating	Nominal Cold Resistance (Ohms)	Nominal Melting I ² t (A ² sec)	Maximum Voltage Drop at Rated Current (mV)	Maximum Power Dissipation at 1.5In (W)
150%	0.05A – 4A	60 minutes, Minimum	.050	0.05	250	1500A@ 250Vac	15.9000	0.00019	10000	1.6
	5A – 6.3A	60 minutes, Minimum	.063	0.063	250		10.4500	0.00079	8800	1.6
	8A – 16A	30 minutes, Minimum	.080	0.08	250		7.8850	0.00084	7600	1.6
210%	0.05A – 4A	30 minutes, Maximum	.100	0.1	250		5.7925	0.00450	7000	1.6
	5A – 6.3A	30 minutes, Maximum	.125	0.125	250		3.6750	0.00546	5000	1.6
	8A – 16A	30 minutes, Maximum	.160	0.16	250		5.3490	0.00326	4300	1.6
275%	0.05A – 4A	0.01 sec., Min.; 2 sec. Max.	.200	0.2	250		3.3500	0.00439	3500	1.6
	5A – 6.3A	0.01 sec., Min.; 3 sec. Max.	.250	0.25	250		2.3500	0.01350	2800	2.5
	8A – 16A	0.04 sec., Min.; 20 sec. Max.	.315	0.315	250		1.8500	0.02320	2500	2.5
400%	0.05A – 4A	.003 sec., Min.; 0.3 sec. Max.	.500	0.5	250		0.8660	0.16500	1800	2.5
	5A – 6.3A	.003 sec., Min.; 0.3 sec. Max.	.630	0.63	250		0.4650	0.05940	1500	2.5
	8A – 16A	.01 sec., Min.; 1.0 sec. Max.	.800	0.8	250		0.2950	0.14600	1200	2.5
1000%	0.05A – 4A	.02 seconds, Maximum	001.	1	250		0.2370	0.18000	1000	2.5
	5A – 6.3A	.02 seconds, Maximum	1.25	1.25	250		0.1530	0.48000	800	4
	8A – 16A	.03 sec.onds, Maximum	01.6	1.6	250		0.1112	1.00500	600	4

Littlefuse Fast-Acting Fuse, 216 Series

Electrical Characteristics

Model	V max. Volts	I max. Amps	I _{hold}	I _{trip}	Resistance		Max. Time To Trip		Tripped Power Dissipation
			Amperes at 23 °C		Ohms at 23 °C		Amperes at 23 °C	Seconds at 23 °C	Watts at 23 °C
			Hold	Trip	R _{Min.}	R _{1Max.}			Typ.
MF-NSMF012	30.0	10	0.12	0.29	1.35	8.50	1.0	0.20	0.4
MF-NSMF020	24.0	10	0.20	0.46	0.60	2.60	1.0	0.60	0.6
MF-NSMF020X***	30.0	60	0.20	0.40	0.60	3.30	1.0	0.60	0.6
MF-NSMF035	6.0	100	0.35	0.75	0.30	1.20	8.0	0.10	0.6
MF-NSMF035X****	16.0	20	0.35	0.75	0.30	1.40	3.5	0.14	0.6
MF-NSMF050	13.2	100	0.50	1.00	0.15	0.70	8.0	0.10	0.4
MF-NSMF075	6.0	100	0.75	1.50	0.10	0.40	8.0	0.10	0.4
MF-NSMF110	6.0	100	1.10	2.20	0.06	0.20	8.0	0.10	0.6
MF-NSMF150	6.0	100	1.50	3.00	0.03	0.13	8.0	0.30	0.6

Bourns PTC Resettable Fuse, MF-NSMF Series

Aislamiento

Dispositivo de aislamiento bloquea la componente común, permitiendo el paso de la componente diferencial.

■ pulse transformers

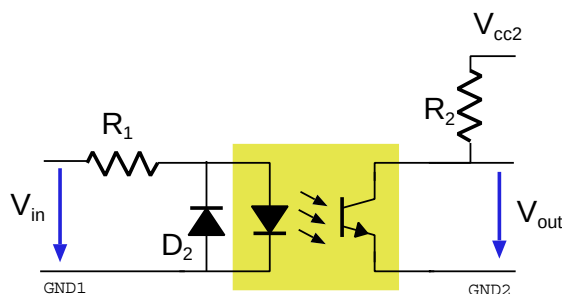
Transformadores optimizados para transferencia de pulsos de tensión.

- elevadas frecuencias, no admite DC
- en ocasiones se requieren varios bobinados (ethernet)

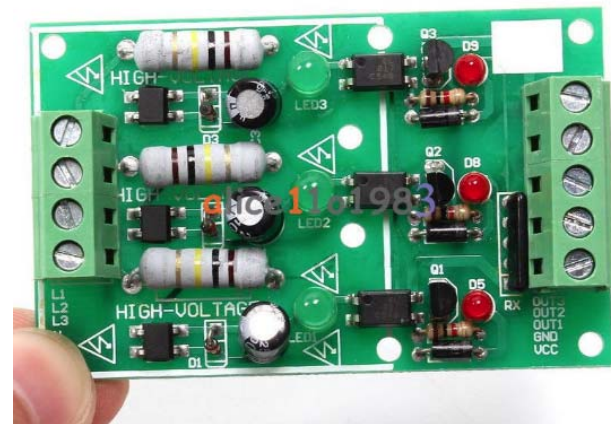


■ optical isolators: optoacoplador

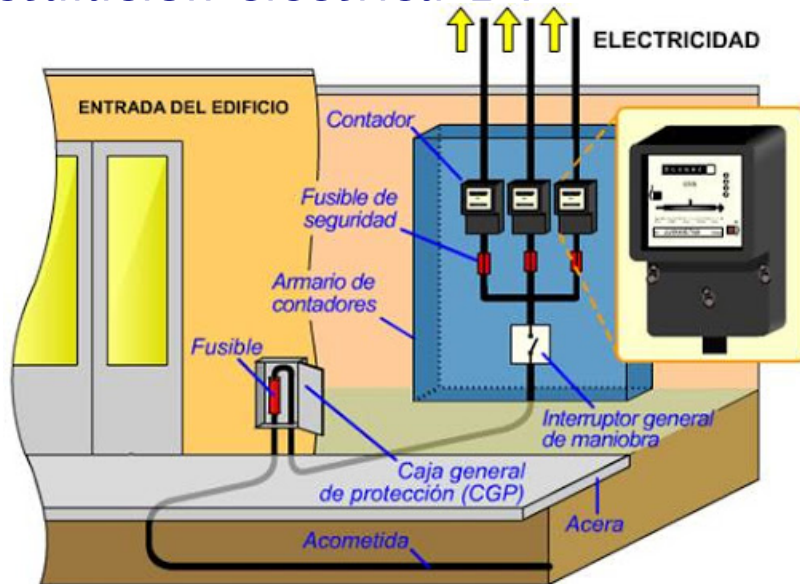
Interruptor activado por luz.



- el emisor en la actualidad es un LED, siendo el receptor un foto-transistor, ambos en el mismo encapsulado.
- debe de protegerse el LED de tensiones inversas (que son especialmente bajas). Ello se consigue con D_2 , que puede venir en el mismo encapsulado.
- requiere diferentes alimentaciones, para garantizar aislamiento.
- es un dispositivo **direccional**, en caso de necesitar bidireccionalidad se requiere dos parejas
- permite de señales bajas y DC.



Instalación eléctrica BT



CGP fachada



CGP y contador

Elementos:

- Acometida
- CGP: Caja General Protección
- Contador
- Cuadro Eléctrico

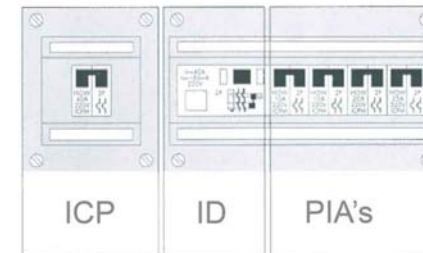


Cuarto contadores

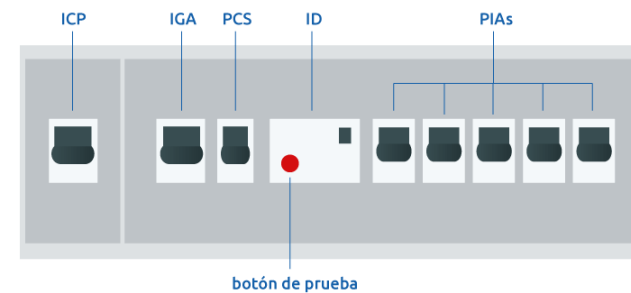
Cuadro Eléctrico Entrada de electricidad en vivienda, elementos de mando y protección.

- **ICP: Interruptor Control de Potencia.** Abre por sobrepasar la potencia. Los contadores inteligentes lo tienen integrado
- **IGA: Interruptor General Automático (NEW).** Abre toda la instalación.
- **PCS: Protector Contra Sobreten-siones (NEW).** Abre por sobreten-sion.
- **ID: Interruptor Diferencial.** Abre por diferencia entre corriente entrante/saliente. Pulsador de prueba.
- **PIA: Pequeño Interrumptor Au-tomático** (automático o magnetotérmico). Permite manualmente abrir los diferentes circuitos (min 5). Abre por exceso de corriente.

Cuadro antiguo



Cuadro moderno



int. automático 16A



int. diferencial 25A
, sens 30mA