

Tallerine Energías Renovables

Componentes eléctricos

SPICE – Simulación de circuitos
eléctricos



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



Algunos
componentes
eléctricos

Resistencia

Diodo

Diodo Zenner

Baterías

LTSPICE

Comandos basicos

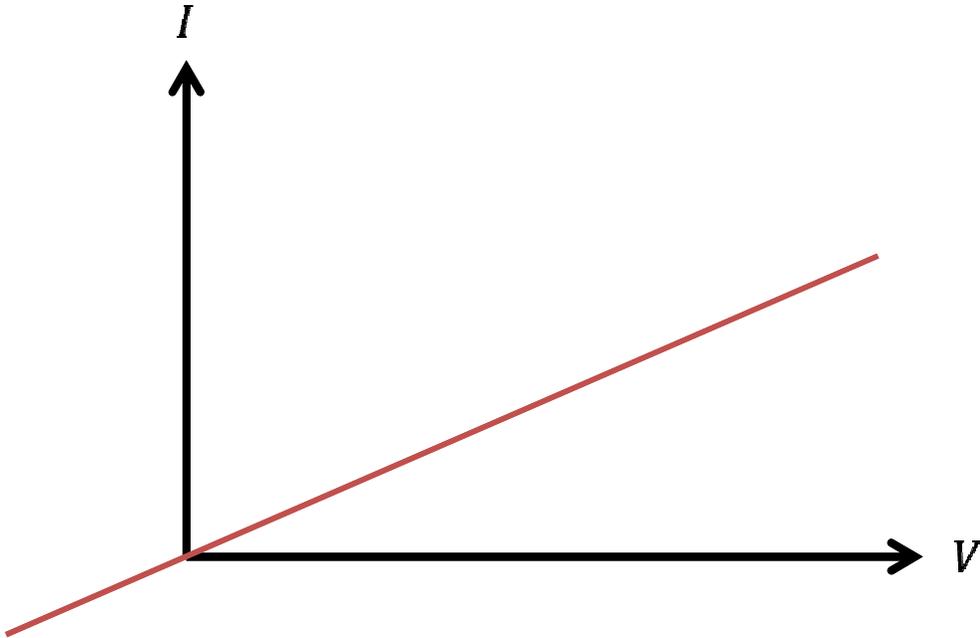
Ejemplo de aplicación

Actividad (Lab. Software)

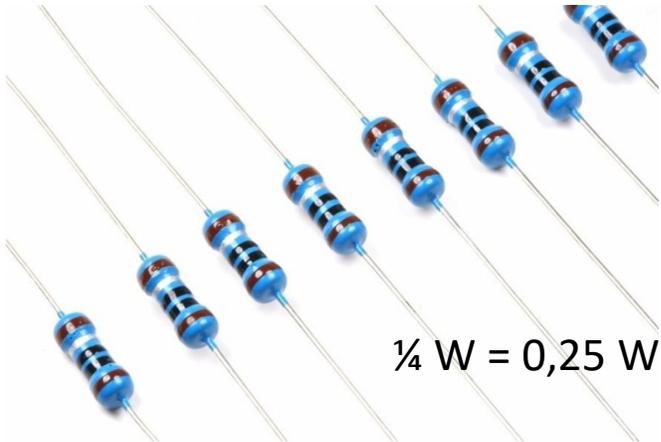
Resistencia



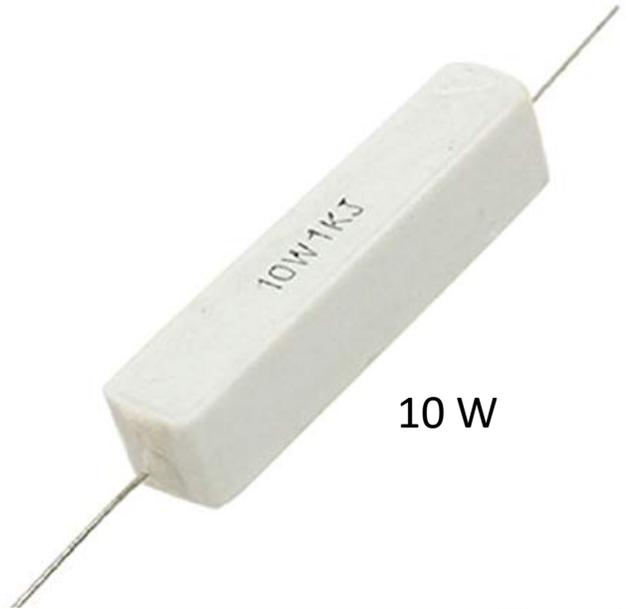
$$V(t) = RI(t)$$



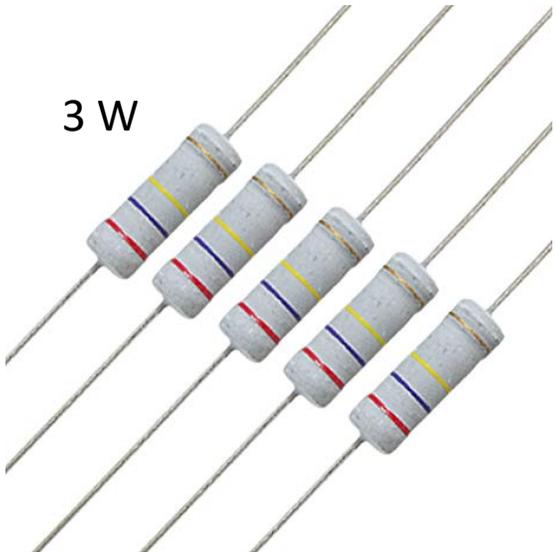
Resistencia



$\frac{1}{4} \text{ W} = 0,25 \text{ W}$



10 W

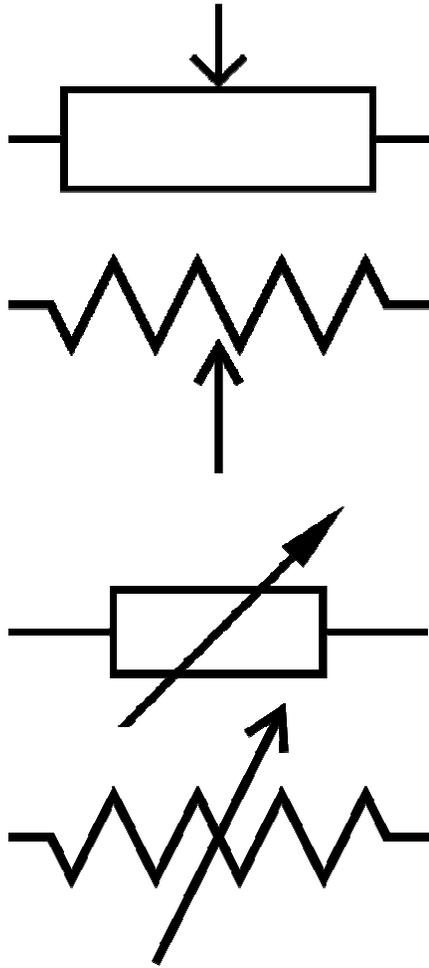


3 W

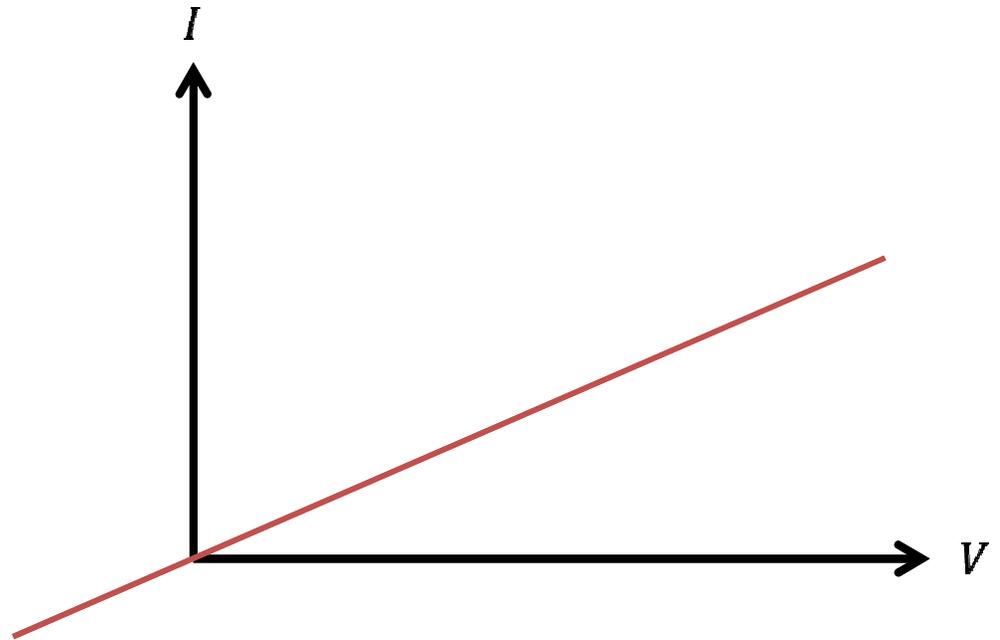


50 W

Resistencia variable



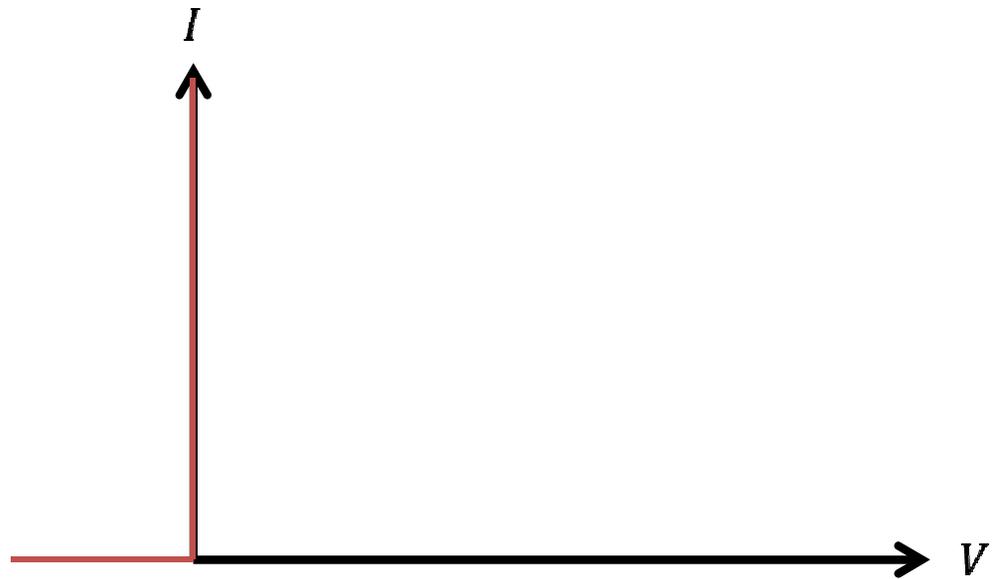
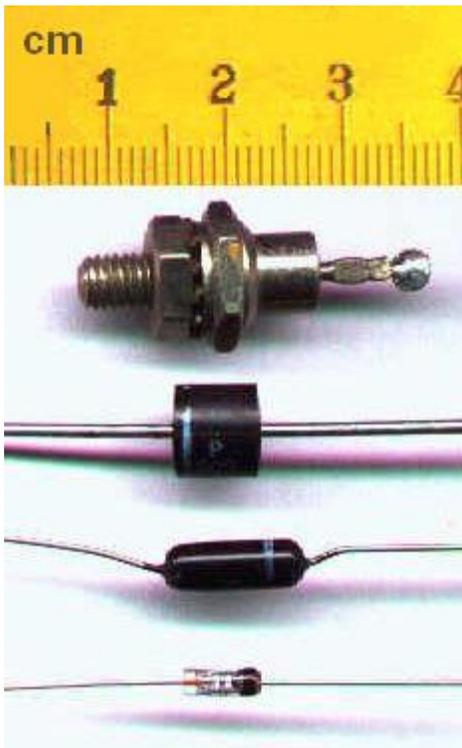
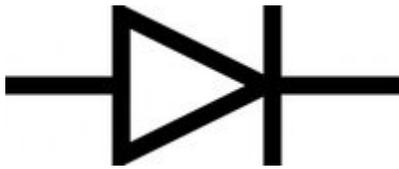
$$V(t) = RI(t)$$



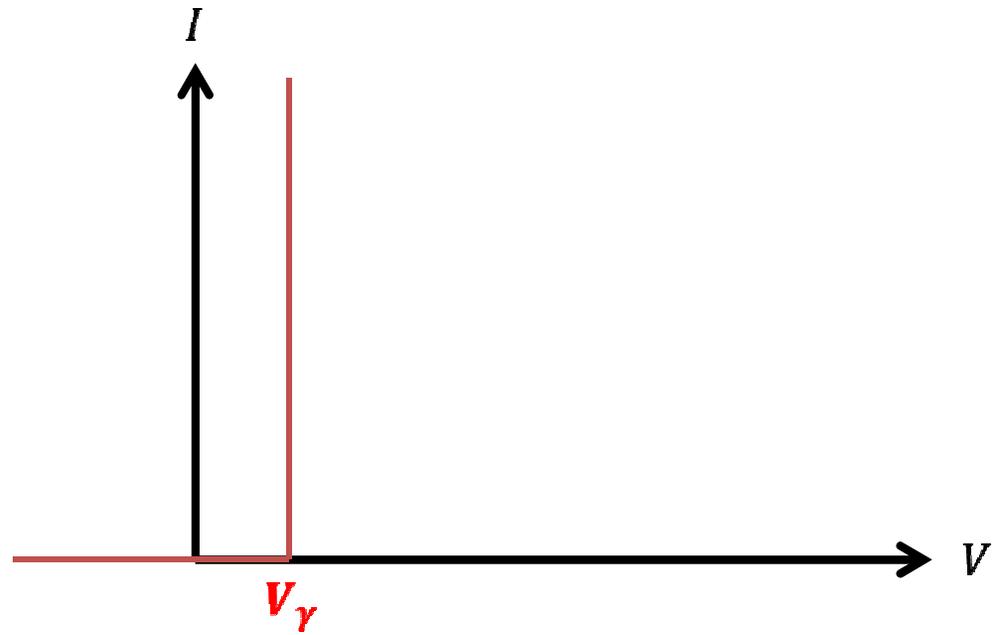
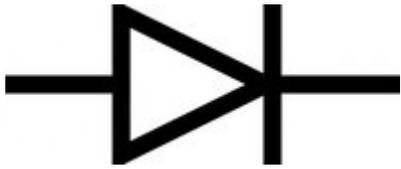
Resistencia variable



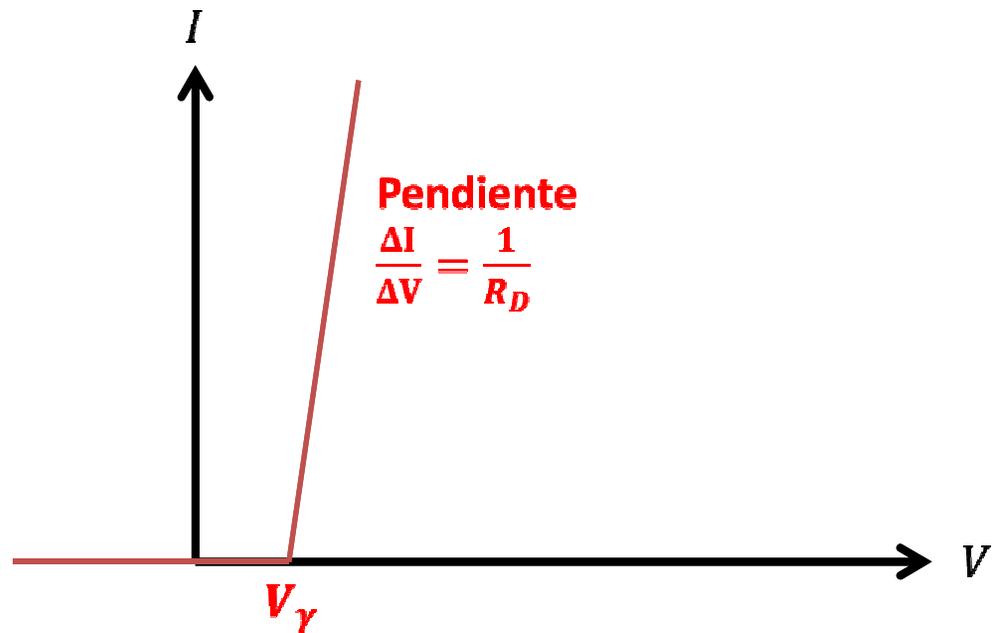
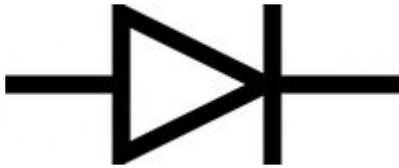
Diodo



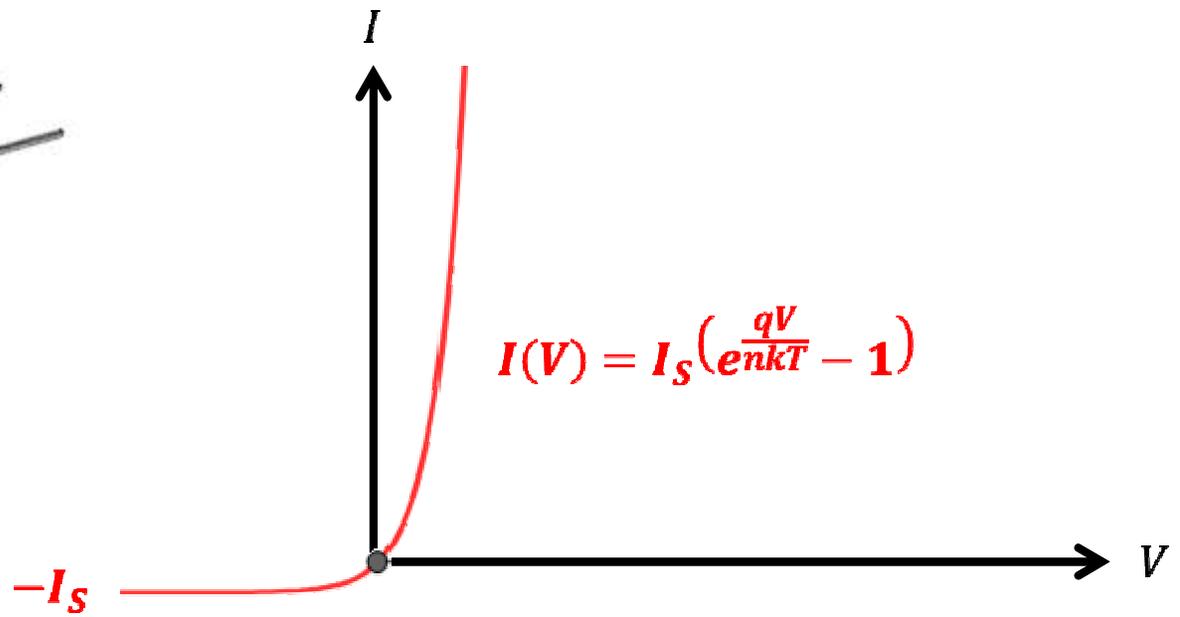
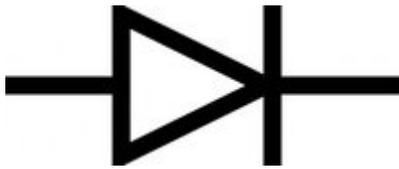
Diodo



Diodo



Diodo



Datasheet (hoja de datos)

- En general, las hojas de datos tienen:
 - Aplicaciones típicas del componente
 - Esquemático con una aplicación típica del componente
 - “Absolute maximum ratings”
 - “Electrical characteristics”
 - Dimensiones físicas del componente

- Ejemplo de datasheet de diodo

ELECTRICAL CHARACTERISTICS†

Rating	Symbol	Typ	Max	Unit
Maximum Instantaneous Forward Voltage Drop, ($i_F = 1.0$ Amp, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_F	0.93	1.1	V
Maximum Full-Cycle Average Forward Voltage Drop, ($I_O = 1.0$ Amp, $T_L = 75^\circ\text{C}$, 1 inch leads)	$V_{F(AV)}$	-	0.8	V
Maximum Reverse Current (rated DC voltage) ($T_J = 25^\circ\text{C}$) ($T_J = 100^\circ\text{C}$)	I_R	0.05 1.0	10 50	μA
Maximum Full-Cycle Average Reverse Current, ($I_O = 1.0$ Amp, $T_L = 75^\circ\text{C}$, 1 inch leads)	$I_{R(AV)}$	-	30	μA

Product parametric performance is indicated in the Electrical Characteristics for the listed test conditions, unless otherwise noted. Product performance may not be indicated by the Electrical Characteristics if operated under different conditions.

†Indicates JEDEC Registered Data

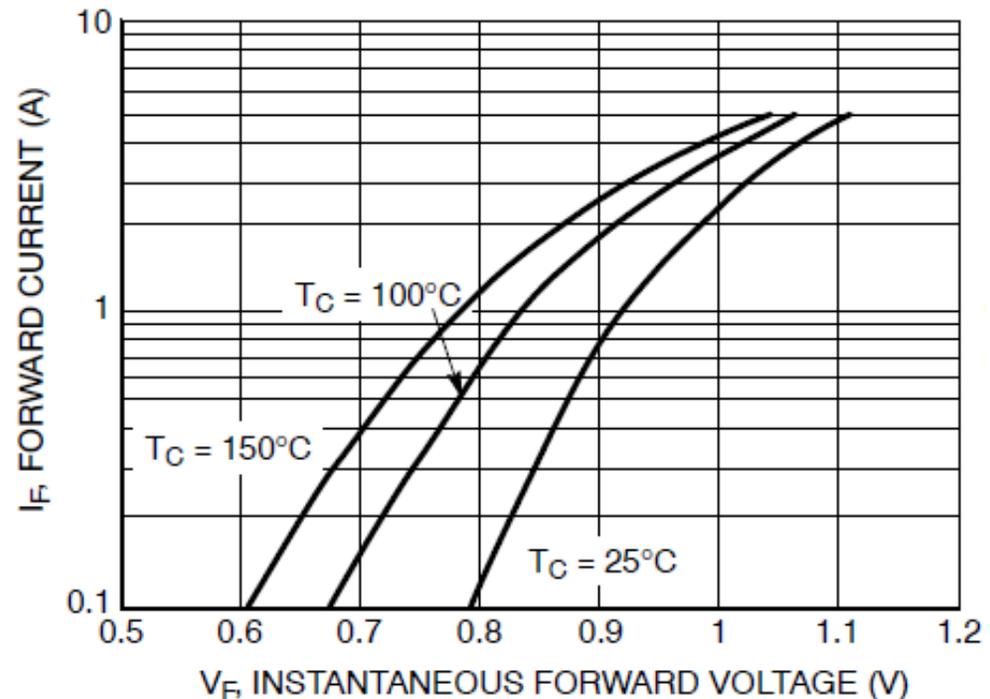
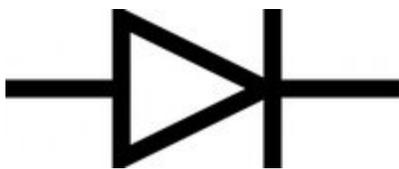


Figure 1. Typical Forward Voltage

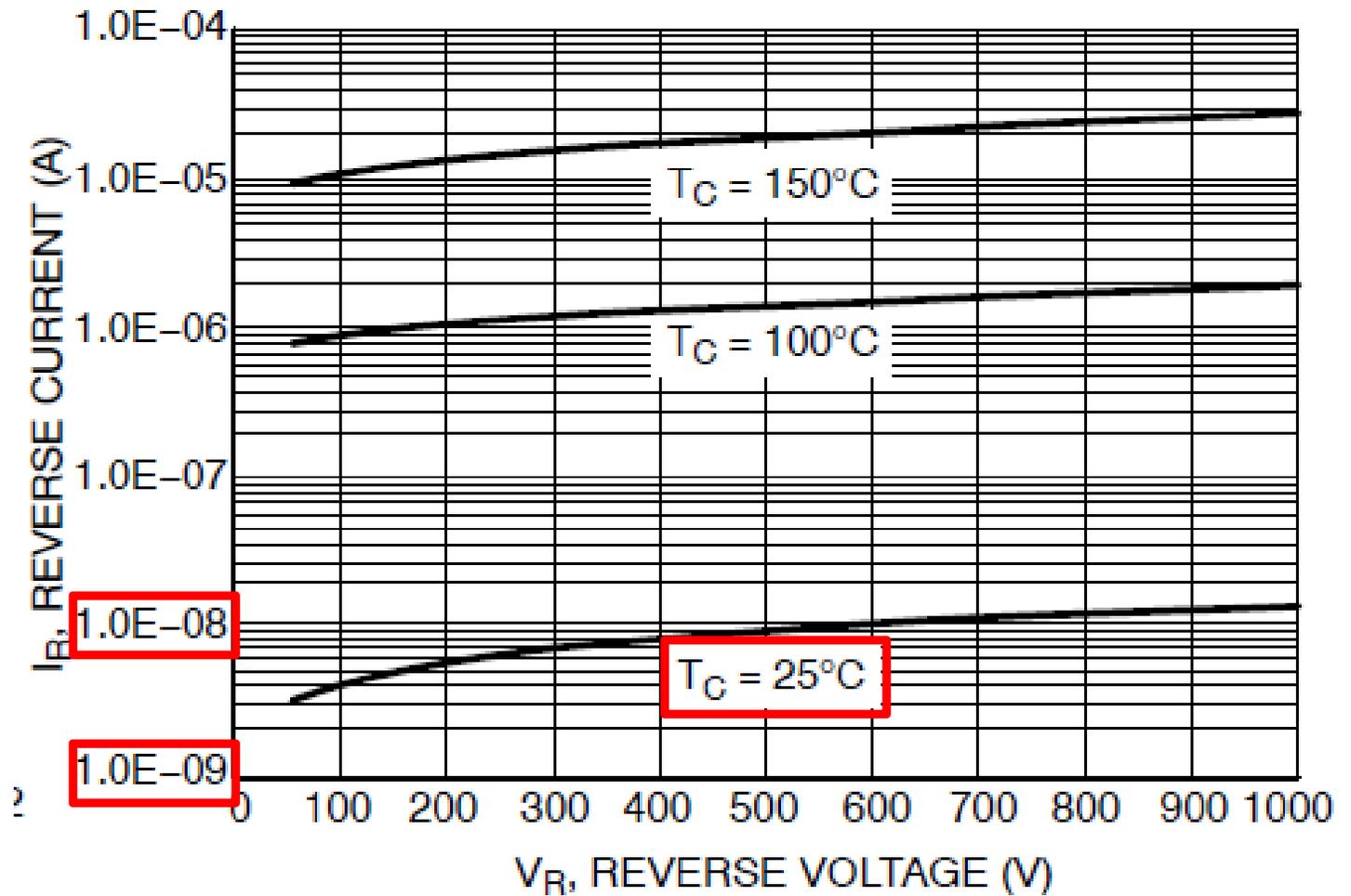
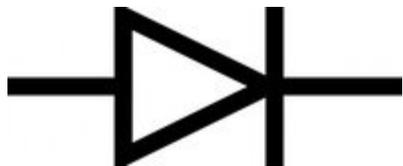
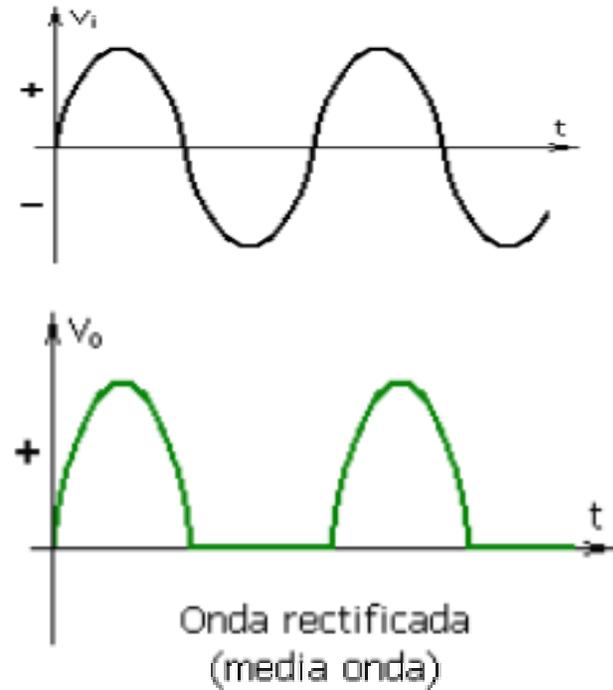
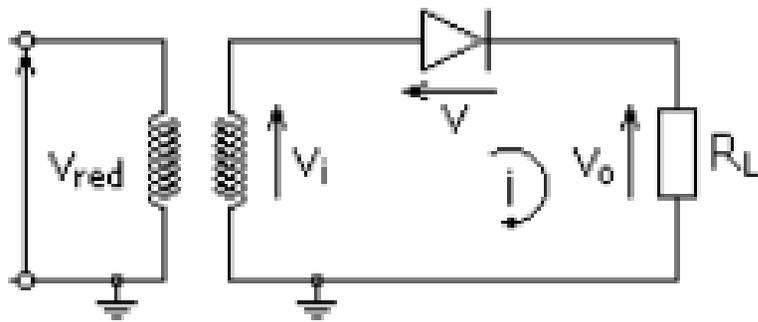
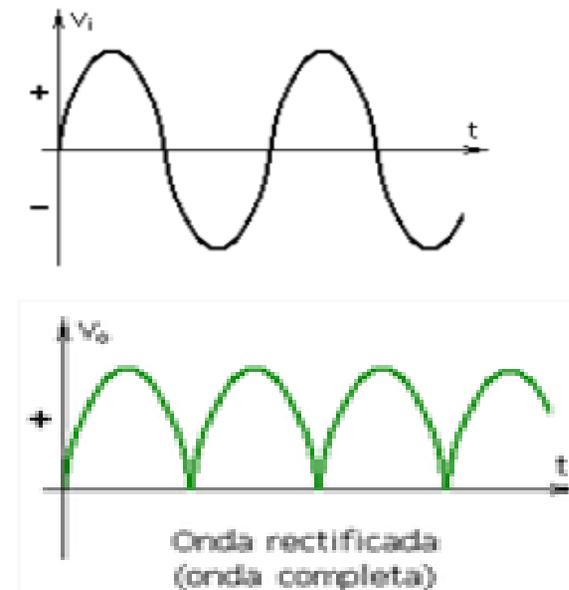
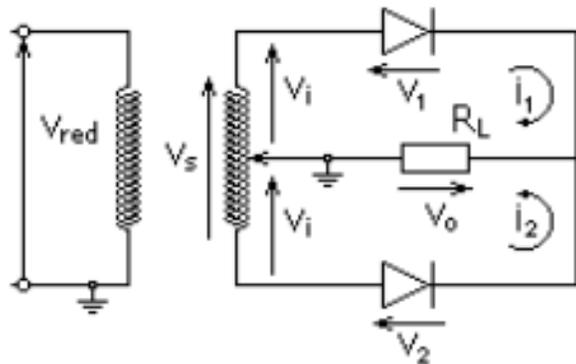


Figure 2. Typical Reverse Current

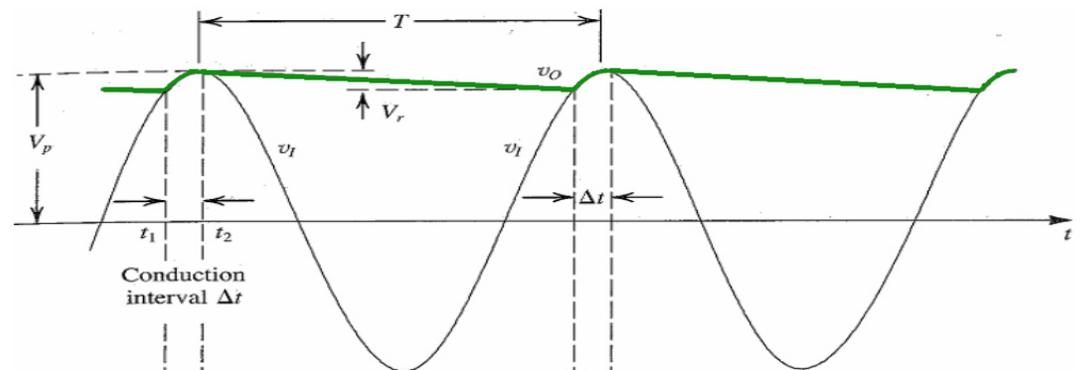
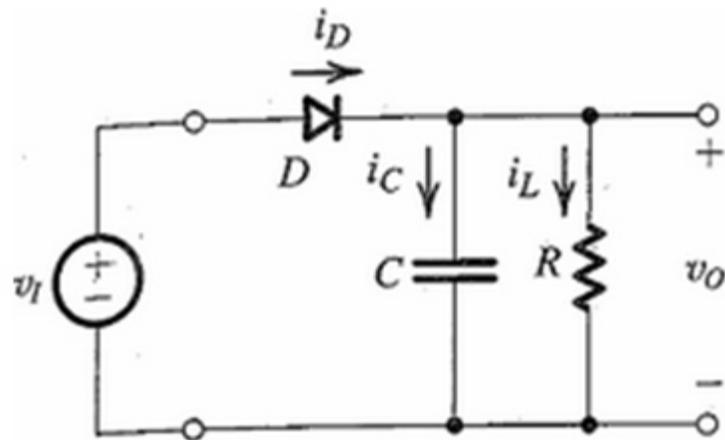
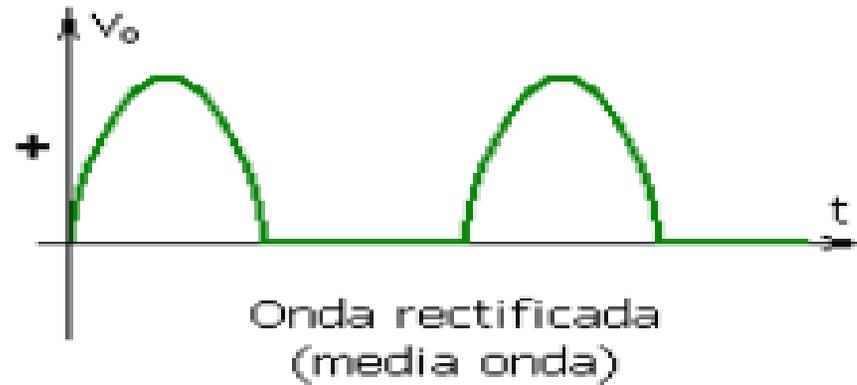
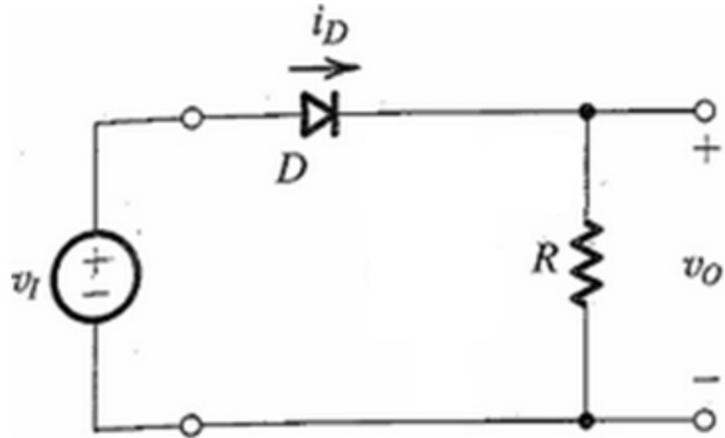
Rectificador de media onda



Rectificador de onda completa

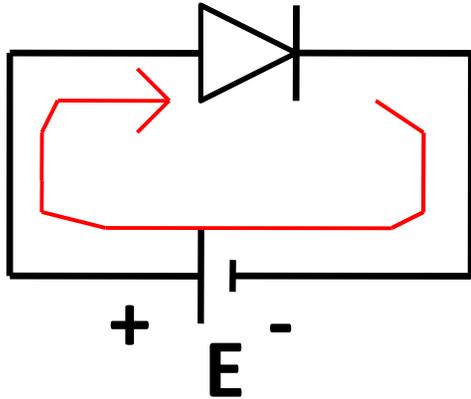


Rectificador de media onda con filtro RC

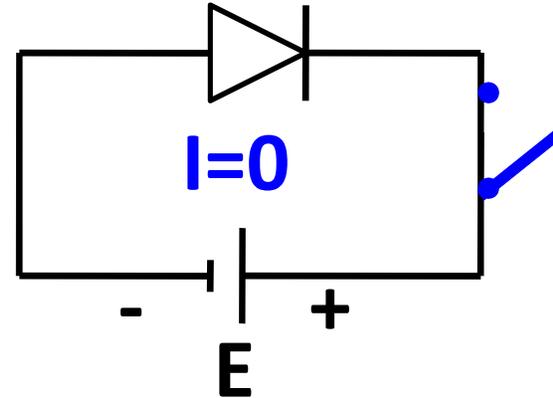


Diodo

Polarización directa

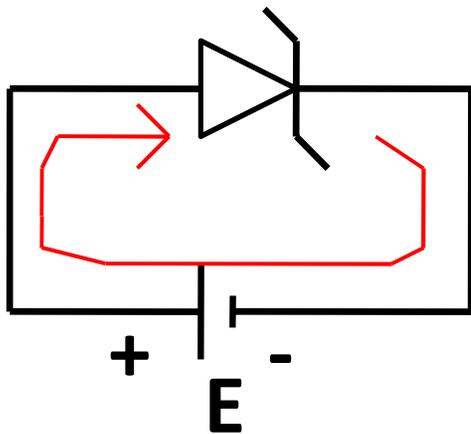


Polarización inversa

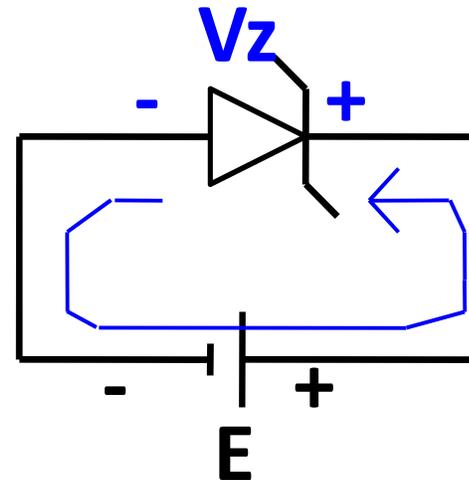


Diodo Zenner

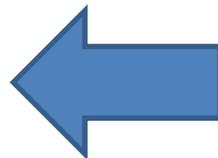
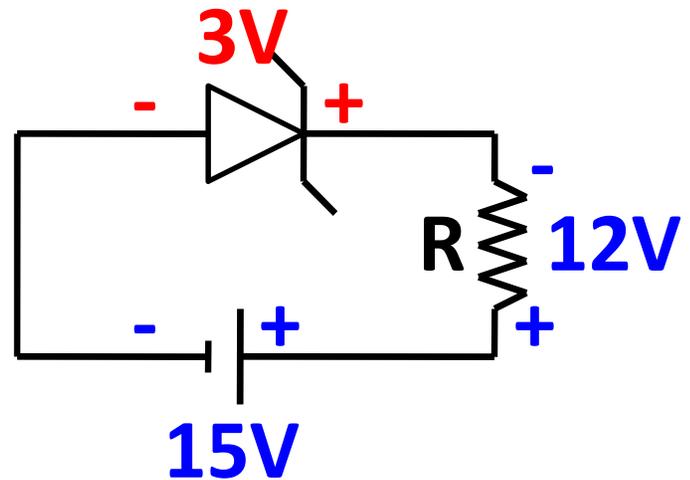
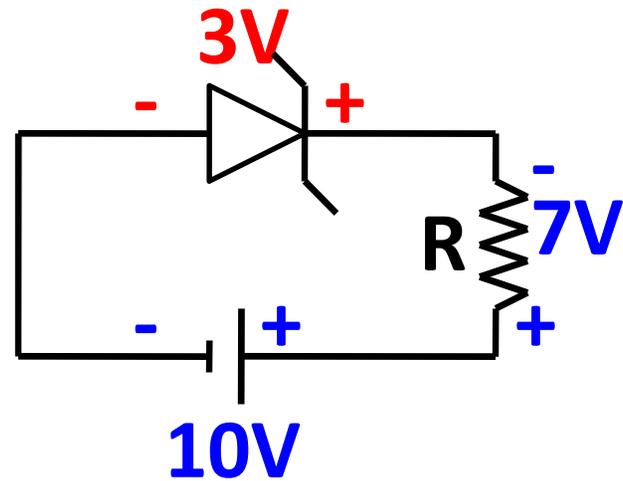
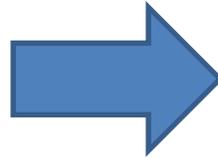
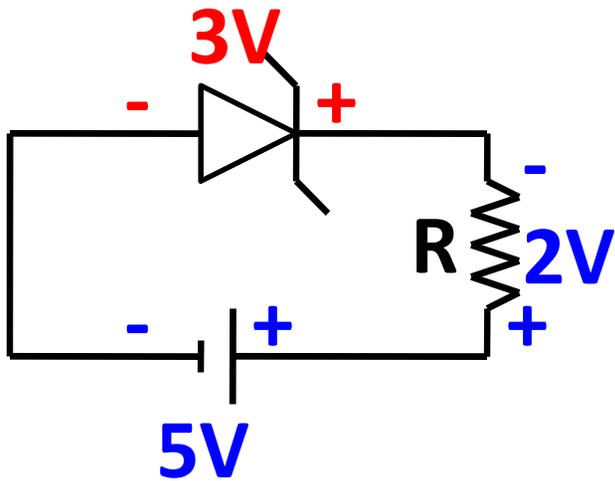
Polarización directa



Polarización inversa

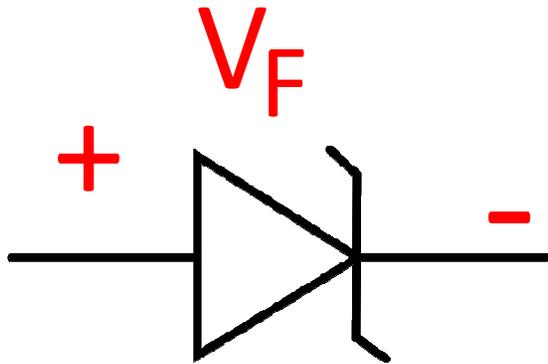


Ej: sea un diodo Zenner con $V_z=3V$

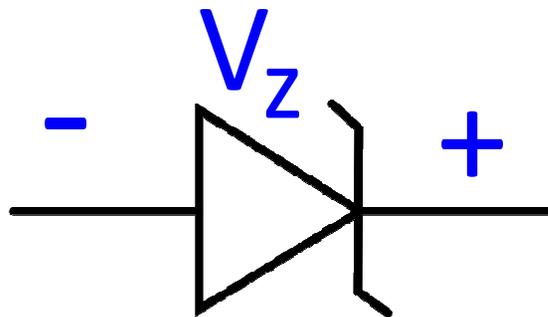


¿Cuanto puede llegar a valer el V_z ?

(directo)

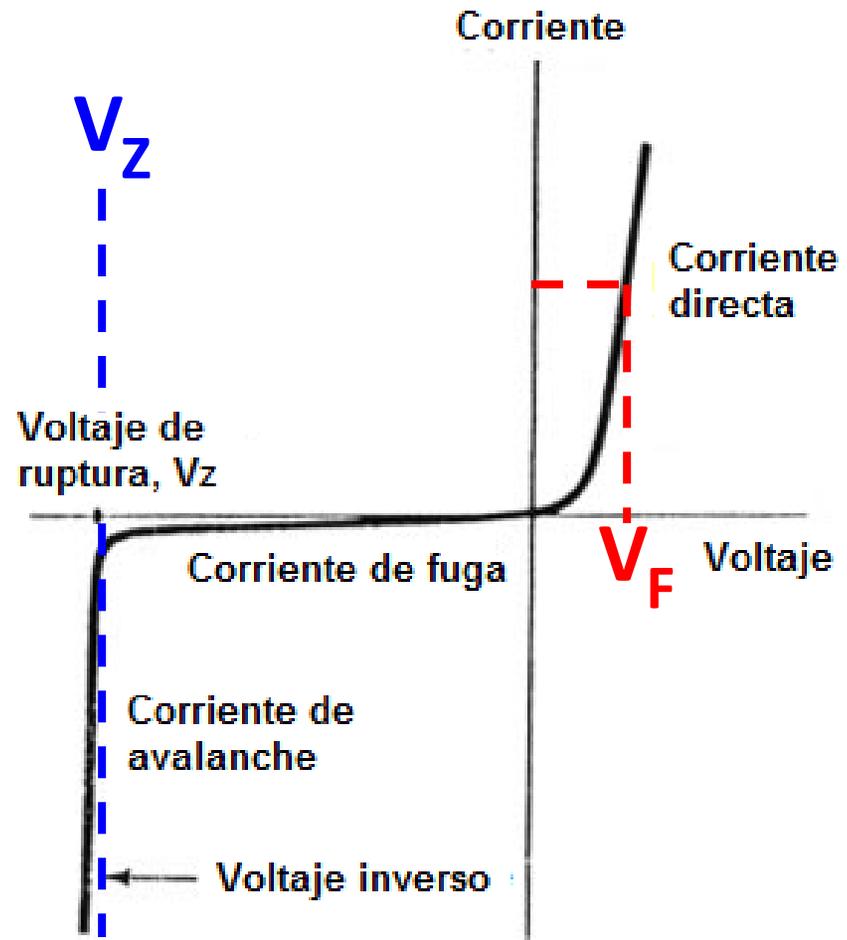


(inverso)



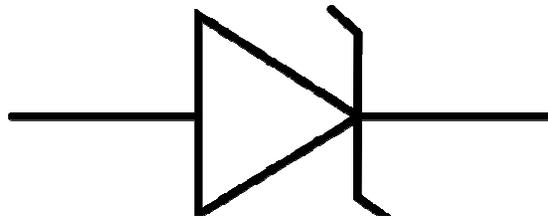
Diodo Zener

Curva de Característica del Diodo Zener

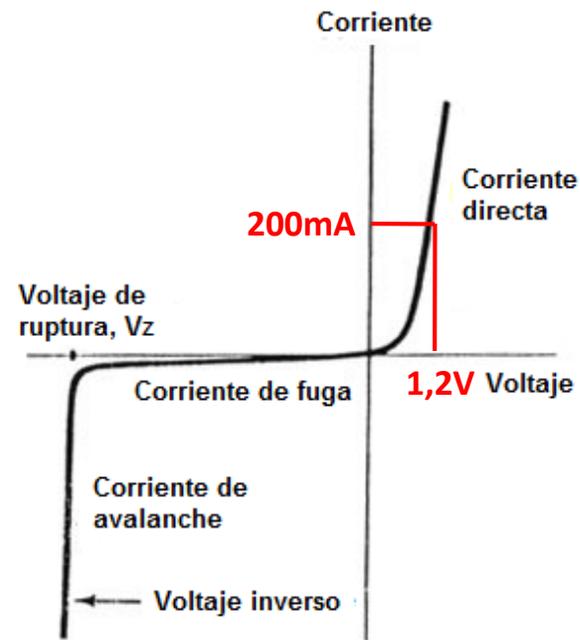


- Ejemplo de datasheet de diodo Zener

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Power dissipation	Valid provided that leads at a distance of 4 mm from case are kept at ambient temperature	P_{tot}	1300	mW
Zener current		I_Z	P_V/V_Z	mA
Thermal resistance junction to ambient air	Valid provided that leads at a distance of 4 mm from case are kept at ambient temperature	R_{thJA}	110	K/W
Junction temperature		T_j	175	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature range		T_{stg}	-65 to +175	$^{\circ}\text{C}$
Forward voltage (max.)	$I_F = 200\text{ mA}$	V_F	1.2	V

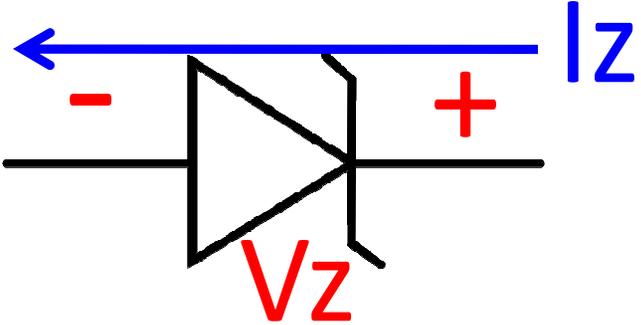
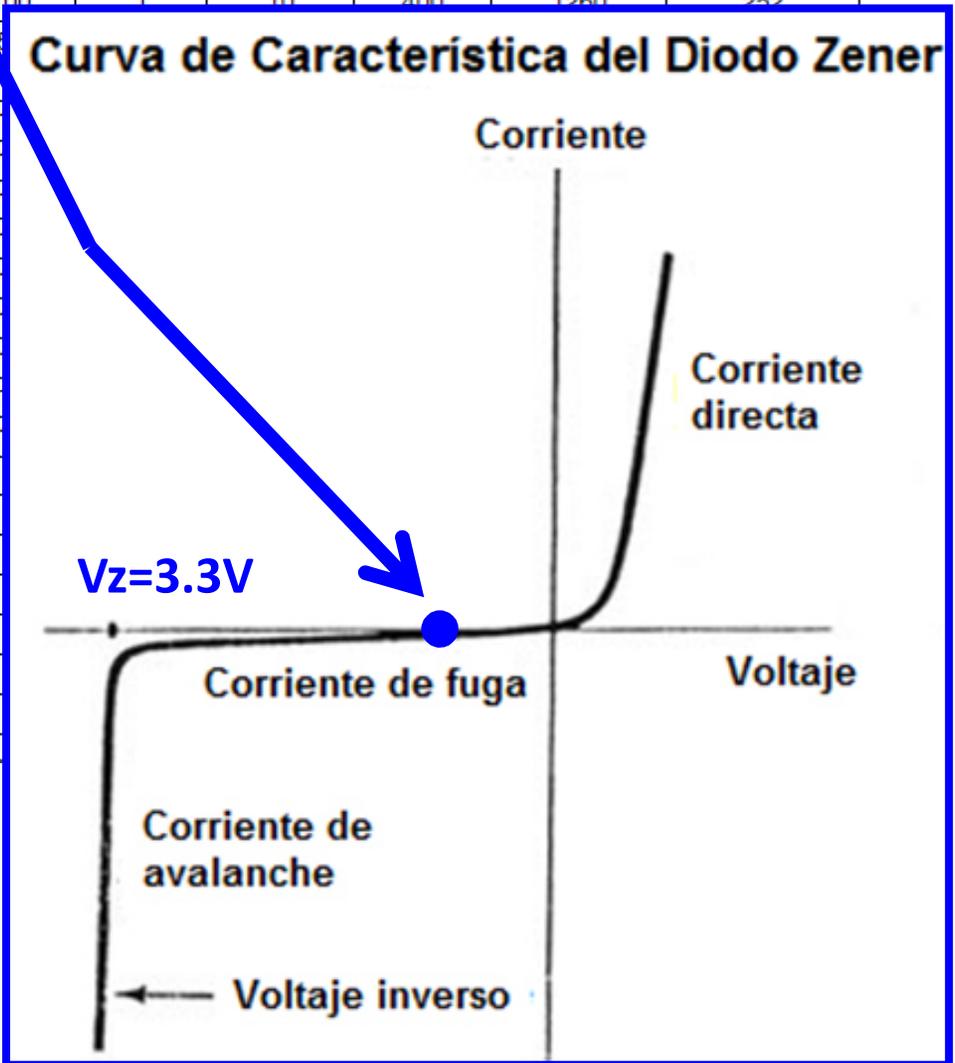


Curva de Característica del Diodo Zener



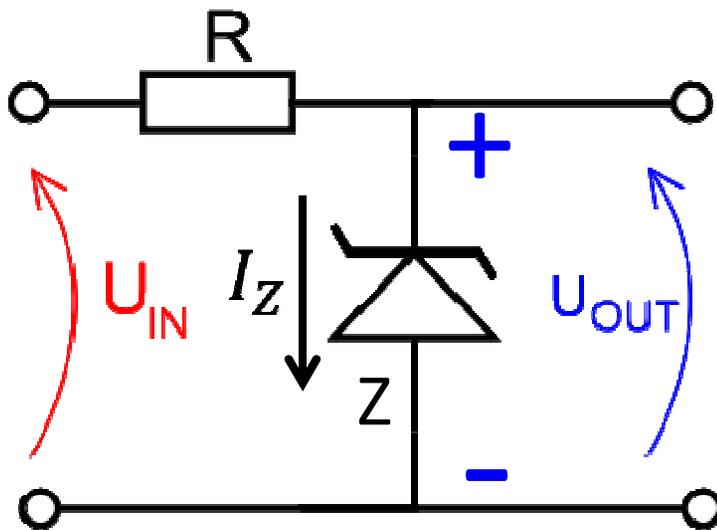
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)

PART NUMBER	ZENER VOLTAGE RANGE (1)	TEST CURRENT		REVERSE LEAKAGE CURRENT		DYNAMIC RESISTANCE $f = 1\text{ kHz}$		SURGE CURRENT (3)	REGULATOR CURRENT (2)
	V_Z at I_{ZT1} V NOM.	I_{ZT1}	I_{ZT2}	I_R at V_R		Z_{ZT} at I_{ZT1}	Z_{ZK} at I_{ZT2}	I_R mA	I_{ZM} mA
		mA	mA	μA	V	Ω	Ω		
				MAX.		TYP.	MAX.		
1N4728A	3.3	76	1	100	1	10	400	1380	276
1N4729A	3.6	69	1			10	400	1260	252
1N4730A	3.9	64	1						
1N4731A	4.3	58	1						
1N4732A	4.7	53	1						
1N4733A	5.1	49	1						
1N4734A	5.6	45	1						
1N4735A	6.2	41	1						
1N4736A	6.8	37	1						
1N4737A	7.5	34	0.5						
1N4738A	8.2	31	0.5						
1N4739A	9.1	28	0.5						
1N4740A	10	25	0.25						
1N4741A	11	23	0.25						
1N4742A	12	21	0.25						
1N4743A	13	19	0.25						
1N4744A	15	17	0.25						
1N4745A	16	15.5	0.25						
1N4746A	18	14	0.25						
1N4747A	20	12.5	0.25						
1N4748A	22	11.5	0.25						



Diodo Zener

- Se usa para fijar la tensión
- Ejemplo básico: regulador de tensión



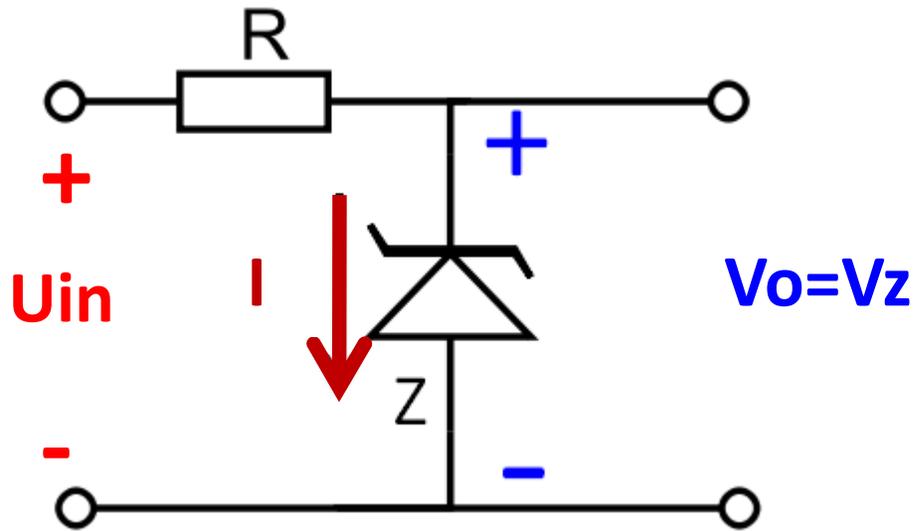
Si la tensión U_{in} es mayor que la tensión Zener V_Z , entonces el diodo Zener se polariza en la región Zener, por lo que la tensión en sus bornes es $-V_Z$.

Se tiene $U_{out} = V_Z$
(a pesar que U_{in} varíe)

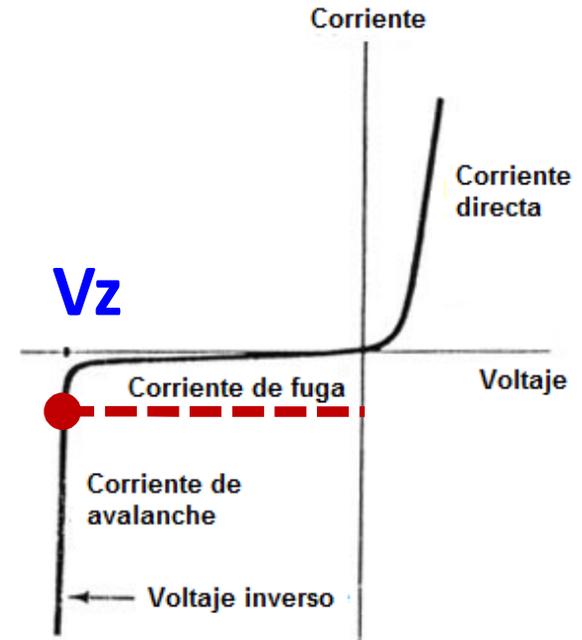
La corriente por la resistencia es

$$I_R = \frac{U_{in} - V_Z}{R}$$

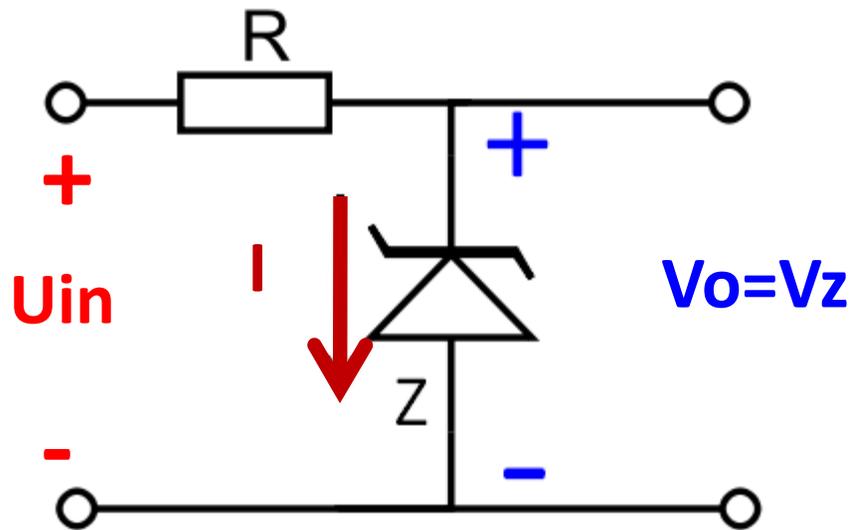
I chica



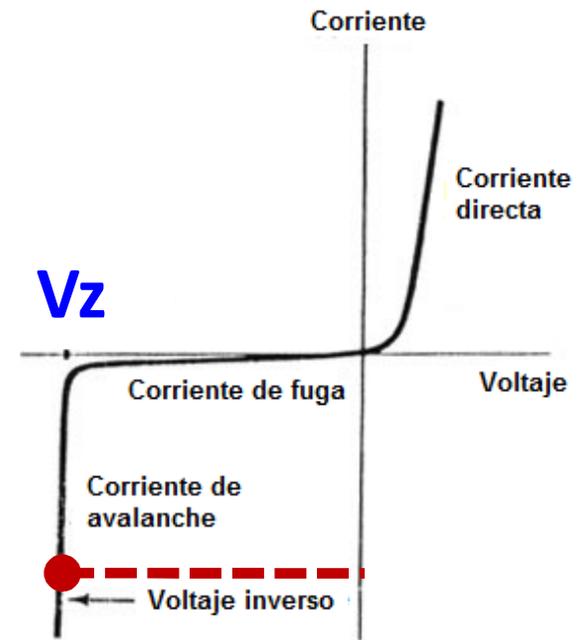
Curva de Característica del Diodo Zener



I grande

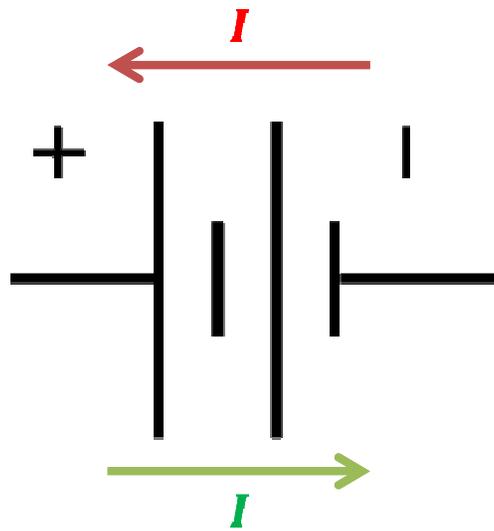


Curva de Característica del Diodo Zener



Baterías

Batería
descargándose

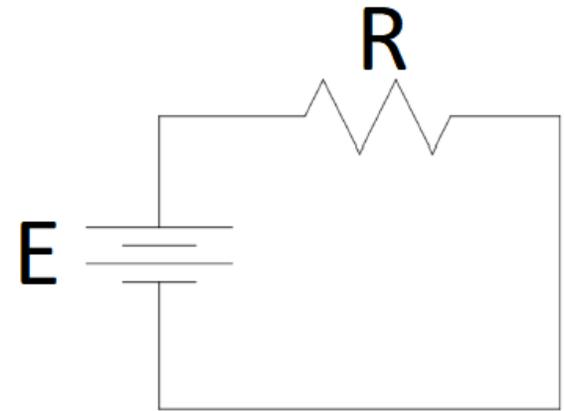


Batería
cargándose

Las baterías nos proveen un voltaje constante fijo.



**¡Nunca cortocircuitar los
bornes de una batería!**



Constant voltage charge, Voltage regulation (20 °C)

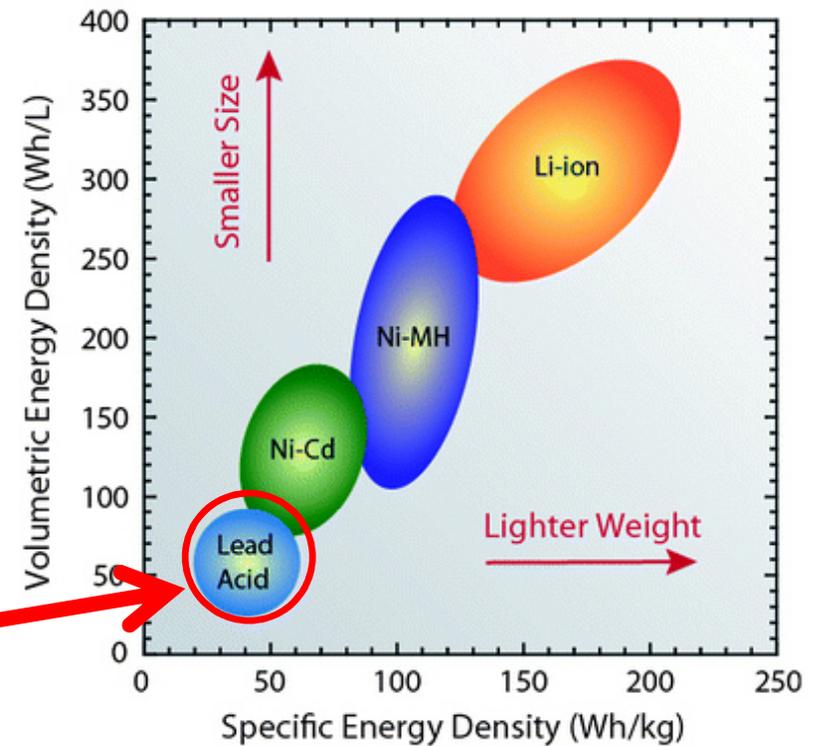
Standby use : 13.5~13.8V

Cycle use : 14.4~15.0V

Initial current : 3.4A MAX.

$$\begin{aligned} R_{\min} &= E/I_{\max} = \\ &= 13,5/3,4 = \\ &= 4 \Omega \end{aligned}$$

Densidad de energía específica



<https://sinovoltaics.com/learning-center/storage/energy-density-and-specific-energy-of-battery/>

<https://www.comprasestatales.gub.uy/consultas/detalle/mostrar-llamado/1/id/i368150>



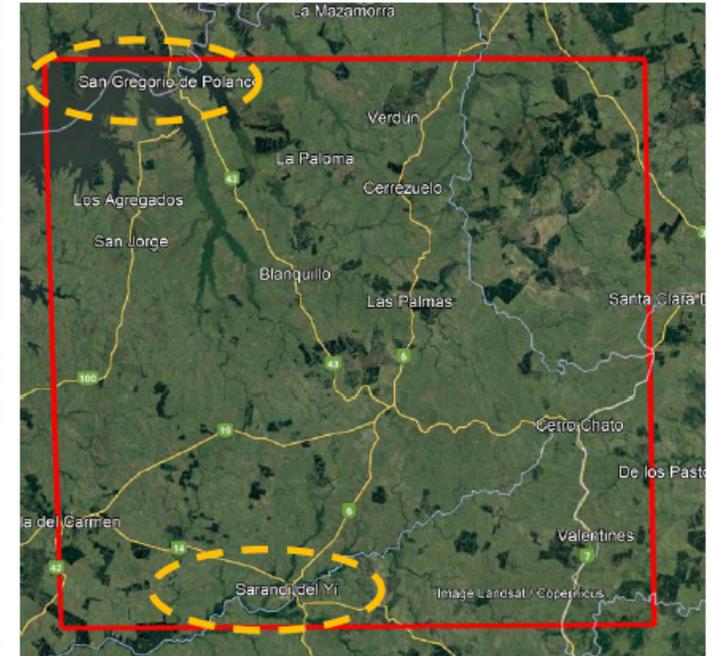
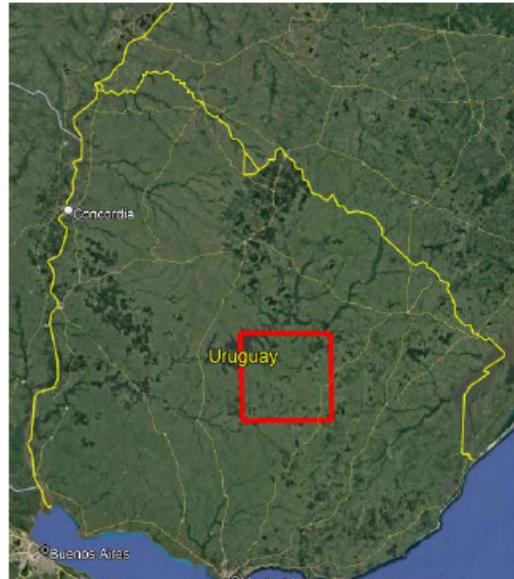
Parte I
Condiciones Particulares de la Licitación

Arrendamiento de un Sistema de Almacenamiento de Energía (BESS) con Operación y Mantenimiento.

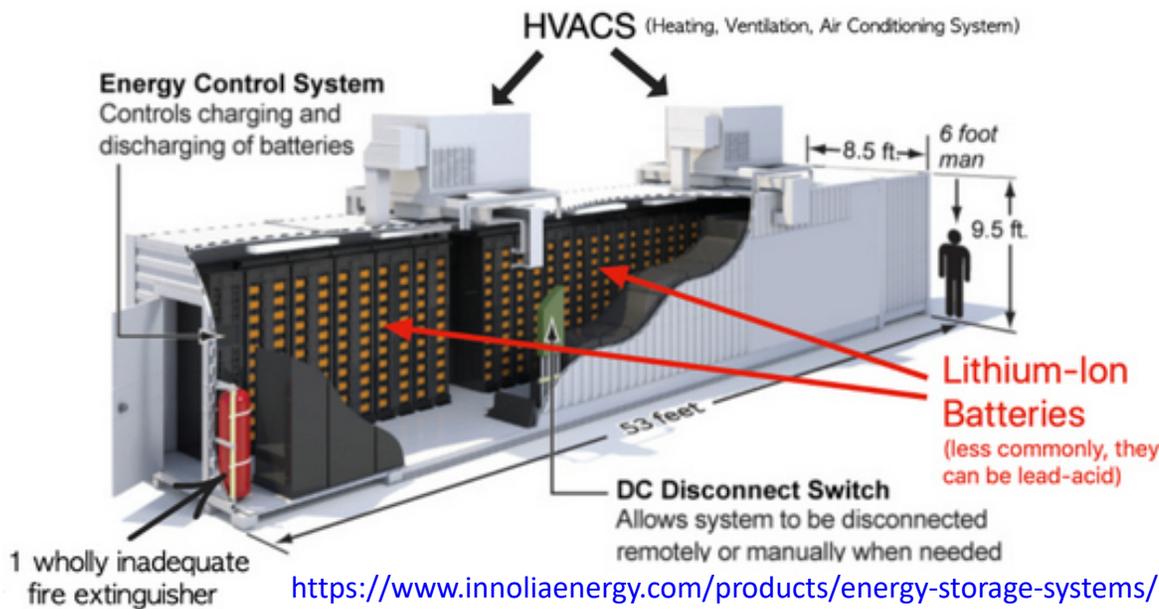
Licitación Pública P100328

MONTEVIDEO
AGOSTO 2022

Unidad solicitante:
ÁREA DISTRIBUCIÓN



Battery Energy Storage System



Emplazamiento 1	San Gregorio de Polanco
Potencia Aparente S (MVA)	10
Potencia Activa P (MW)	8,5
Energía E (MWh)	18

Tabla 9- Requerimiento ESS San Gregorio de Polanco

Emplazamiento 2	Sarandí del Yí
Potencia Aparente S (MVA)	8
Potencia Activa P (MW)	7
Energía E (MWh)	17

Tabla 10- Requerimiento ESS Sarandí del Yí

<https://www.comprasestatales.gub.uy/consultas/detalle/mostrar-llamado/1/id/i368150>

Emplazamiento 1	San Gregorio de Polanco
Potencia Aparente S (MVA)	10
Potencia Activa P (MW)	8,5
Energía E (MWh)	18

Tabla 9- Requerimiento ESS San Gregorio de Polanco

Emplazamiento 2	Sarandí del Yí
Potencia Aparente S (MVA)	8
Potencia Activa P (MW)	7
Energía E (MWh)	17

Tabla 10- Requerimiento ESS Sarandí del Yí

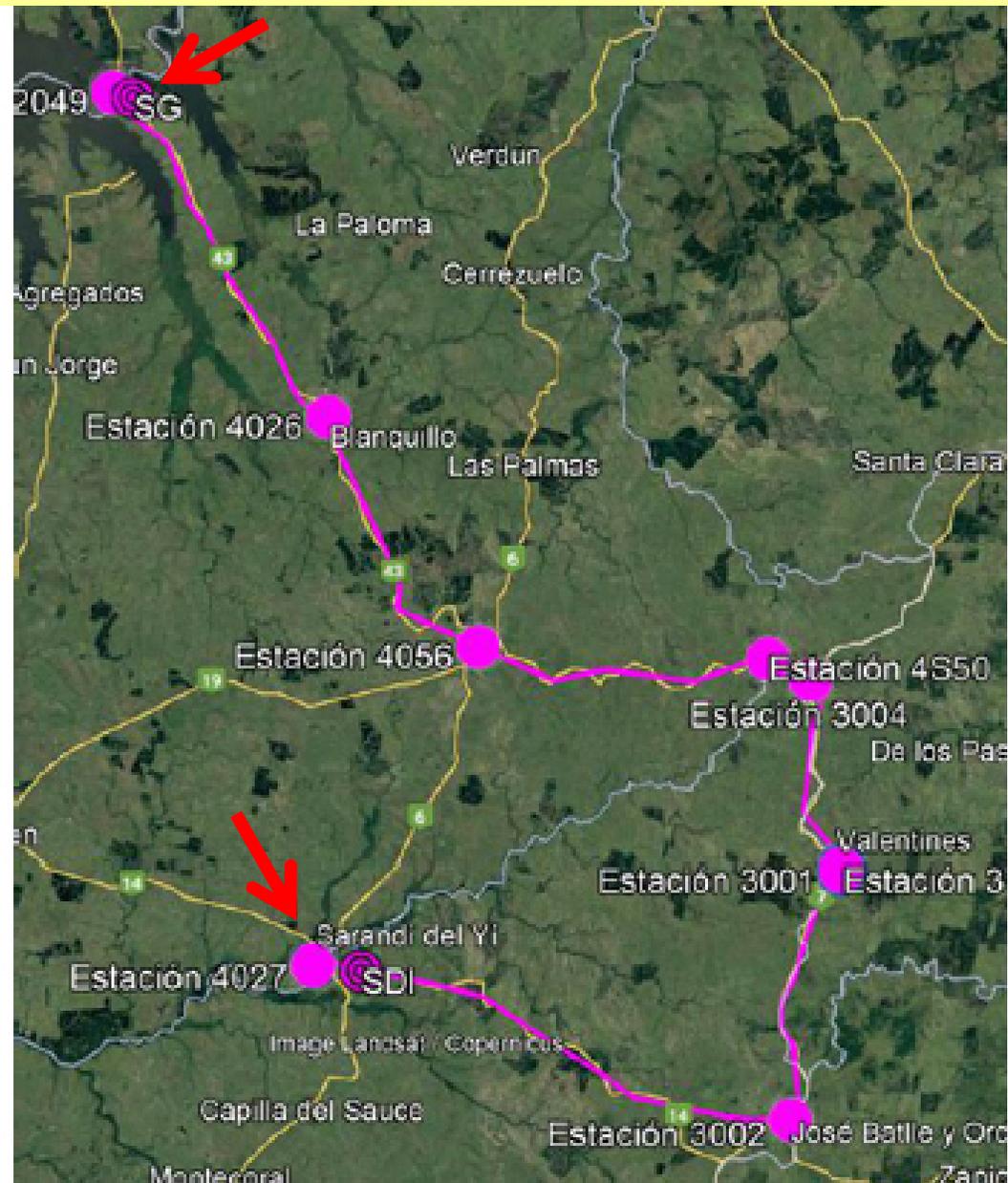


Ilustración 2 - Red de Distribución 31.5kV

Table 1. Electric Grid Energy Storage Services Presented in This Handbook

Bulk Energy Services	
	Electric Energy Time-Shift (Arbitrage)
	Electric Supply Capacity
Ancillary Services	
	Regulation
	Spinning, Non-Spinning and Supplemental Reserves
	Voltage Support
	Black Start
	Other Related Uses
	Transmission Infrastructure Services
	Transmission Upgrade Deferral
	Transmission Congestion Relief
	Distribution Infrastructure Services
	Distribution Upgrade Deferral
	Voltage Support
	Customer Energy Management Services
	Power Quality
	Power Reliability
	Retail Electric Energy Time-Shift
	Demand Charge Management

SANDIA REPORT

SAND2013-5131
 Unlimited Release
 July 2013

**DOE/EPRI 2013 Electricity Storage
 Handbook in Collaboration with NRECA**

Abbas A. Akhil, Georgianne Huff, Aileen B. Currier, Benjamin C. Kaun, Dan M. Rastler,
 Stella Bingqing Chen, Andrew L. Cotter, Dale T. Bradshaw, and William D. Gauntlett

Aplicaciones “detrás del medidor” – Arbitraje de energía

TARIFAS GRANDES CONSUMIDORES

Con carácter opcional para los servicios con potencia contratada máxima (tramo horario Valle) igual o mayor que 200 kW.

1. Cargos por consumo de energía, por potencia y cargo fijo:

Tarifa	Nivel de tensión kV	Precio de energía \$/kWh			Potencia máxima medida \$/kW			Cargo Fijo mensual \$
		Valle	Llano	Punta	Valle	Llano	Punta	
GC1	0,230 - 0,400	2,340	4,217	8,425	43,0	262,0	614,0	5.515
GC2	6,4 - 15 - 22	2,339	4,048	6,360	49,2	252,0	299,0	5.860
GC3	31,5 - 63	2,230	3,664	5,025	54,4	169,7	280,0	9.825
GC5 *	110 - 150	2,229	3,661	4,884	44,9	134,2	179,5	13.914

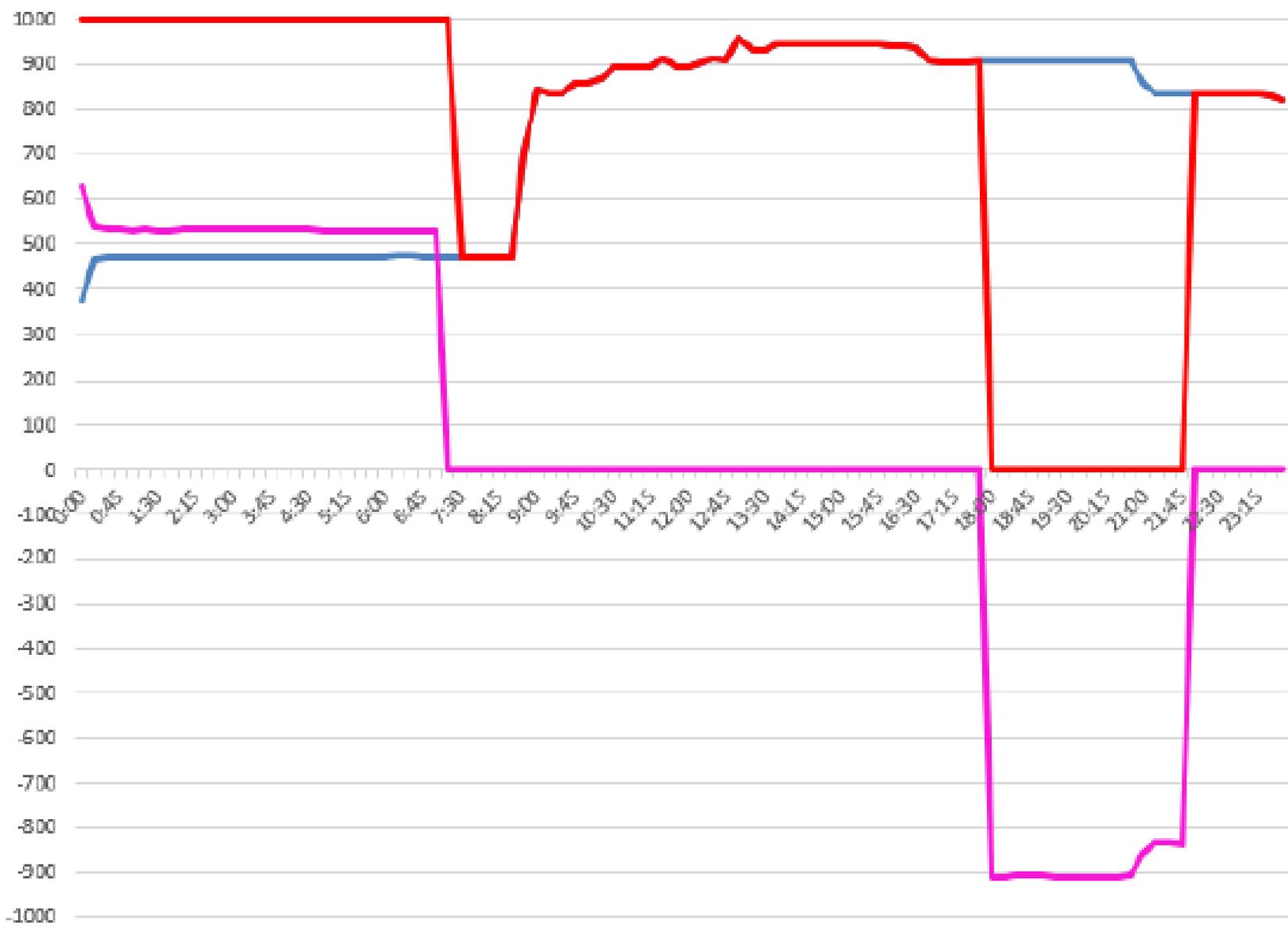
* La tarifa GC5 es aplicable exclusivamente a servicios cuyos titulares hayan contratado con anterioridad a la aprobación de los decretos 276/002; 277/002 y 360/002.

2. Períodos horarios:

Los cargos por energía se distribuyen en tres períodos horarios, durante todos los días que integran la factura mensual, de acuerdo al siguiente detalle.

- horas Punta: de 18:00 a 22:00 hrs.
- horas Llano: de 07:00 a 18:00 y de 22:00 a 24:00 hrs.
- horas Valle: de 00:00 a 07:00 hrs.

Fuente: <https://www.ute.com.uy/clientes/mi-factura/precios-actuales>

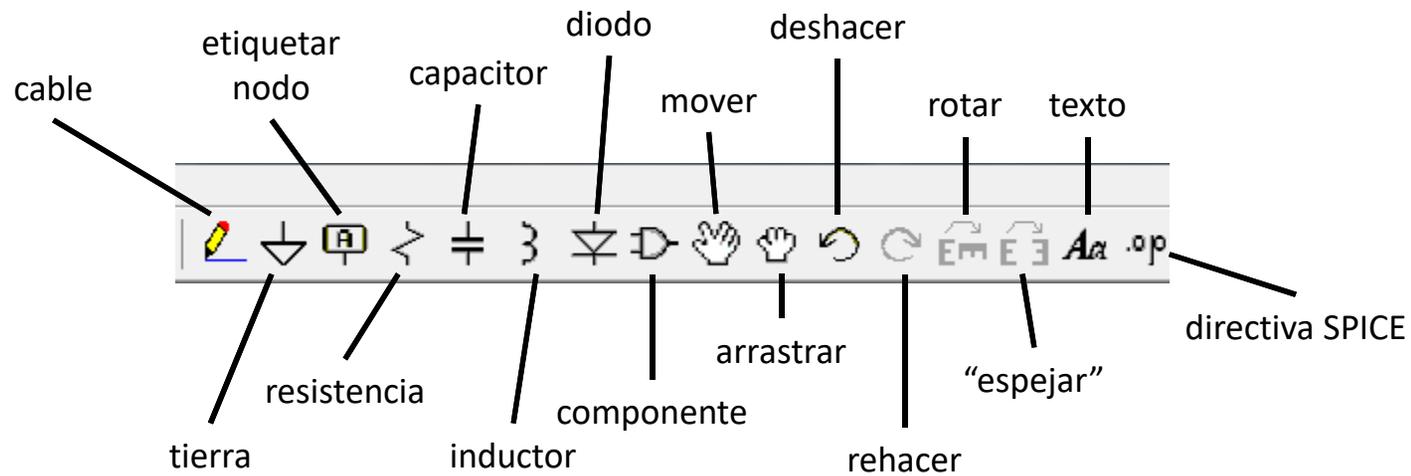
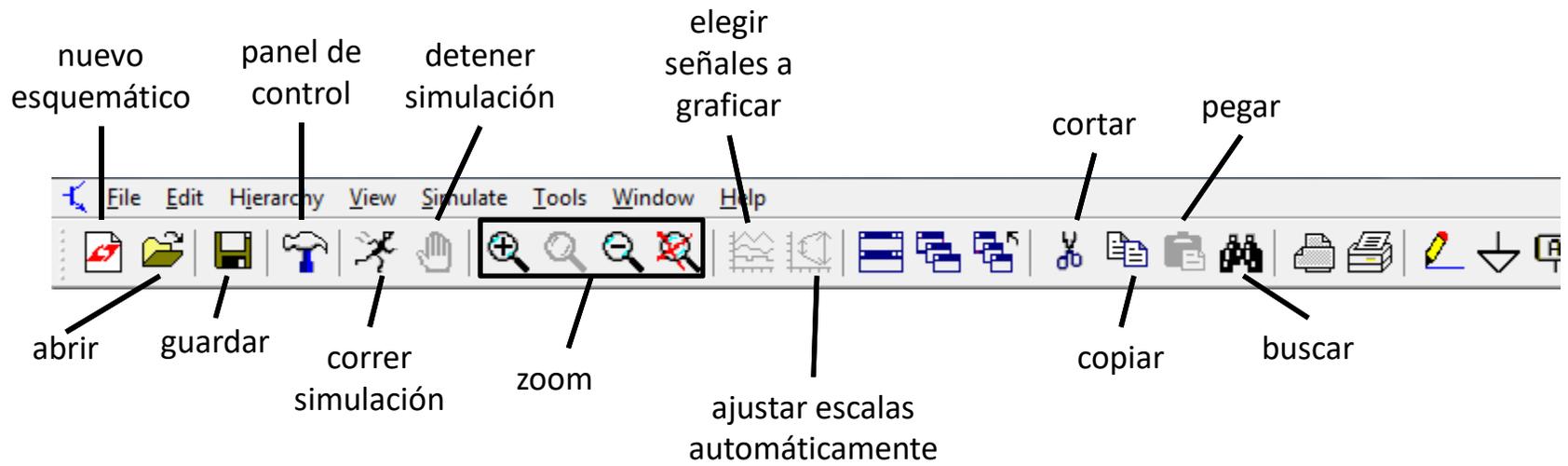


— S_neta sin batería (kVA)
 — S_neta con batería (kVA)
 — BATERIA

SPICE

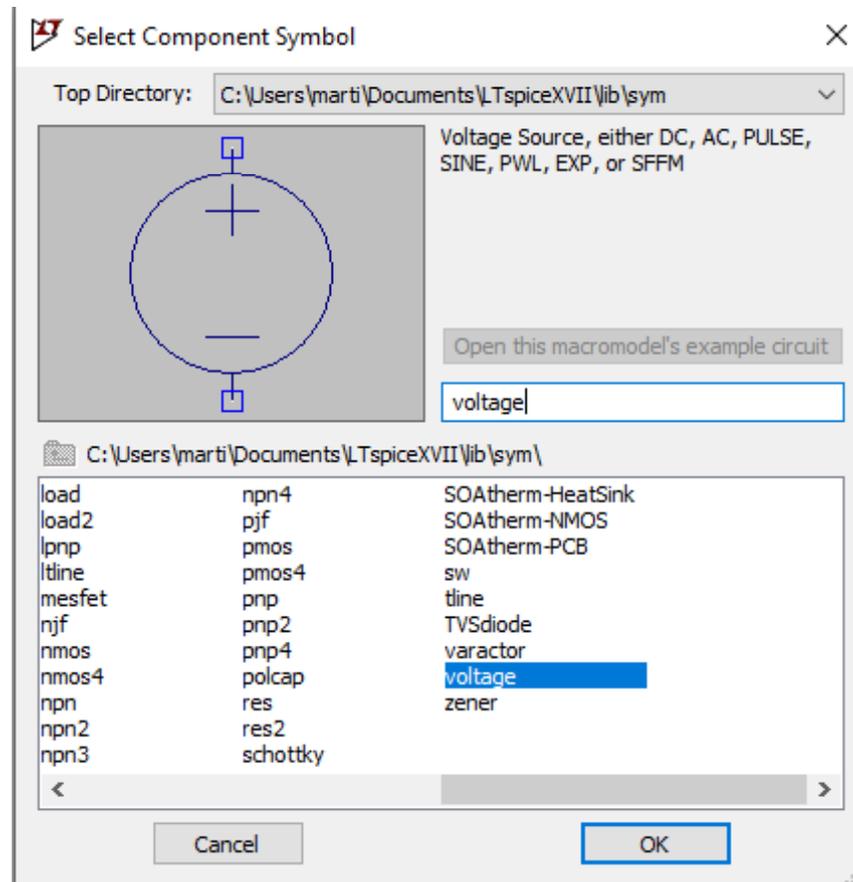
- SPICE: *Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis*
(Programa de simulación con énfasis en circuitos integrados)
- Simula circuitos analógicos
- Nosotros usaremos LTspice



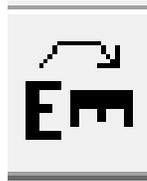
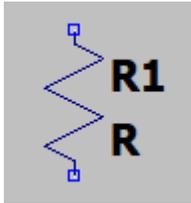


Actividad en clase: ejemplo con LTSPICE

- Crear una fuente de voltaje. Para esto, pulsar el icono  (“Component”) y elegir **“voltage”**.

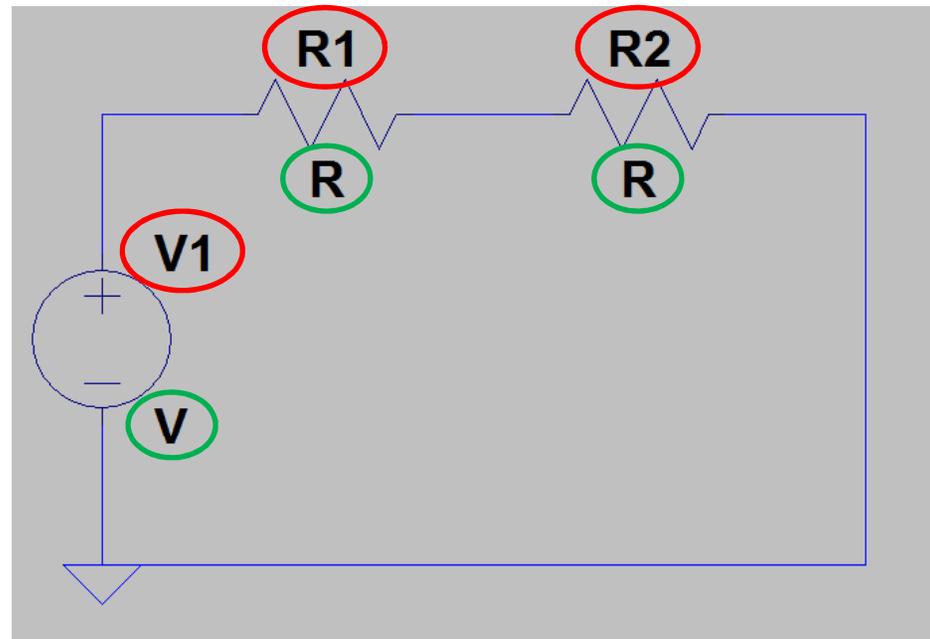


- Crear 2 resistencias. Para esto, pulsar “R” o el icono  (“**Resistor**”).



- Crear referencia de tensión (tierra o “ground”). Para esto, pulsar “G” o el icono  (“**Ground**”).
- Dibujar las conexiones necesarias para obtener la fuente de voltaje en serie con las 2 resistencias. Para esto, se puede pulsar el icono  (“**Wire**”).

- Se debería tener el siguiente circuito:



Cada componente tiene una "referencia" (o nombre) y un "valor"

Asignar valores a los componentes

- Ahora procederemos a asignarle valores a los componentes.
 - Fuente de voltaje: **12 V de continua** (representa una batería de 12 V).
Click derecho en la fuente de voltaje, y en “DC value[V]” poner el valor deseado. El campo “Series Resistance[Ω]” puede dejarse en blanco.
Si se hace click en “Advanced”, aparecen muchas más opciones (voltaje continuo, voltaje sinusoidal, pulsos de voltaje, e incluso una onda arbitraria de voltaje desde un archivo) que ahora mismo no utilizaremos.
 - Resistencias: una de **100 Ω** y la otra de **10 Ω**.
Click derecho en la resistencia, y en “Resistance[Ω]” poner el valor deseado. Los campos “Tolerance[%]” y “Power Rating[W]” pueden dejarse en blanco.

 Resistor - R1 ✕

Manufacturer: -----
Part Number: -----

Resistor Properties

Resistance[Ω]:	<input type="text" value="100"/>
Tolerance[%]:	<input type="text"/>
Power Rating[W]:	<input type="text"/>

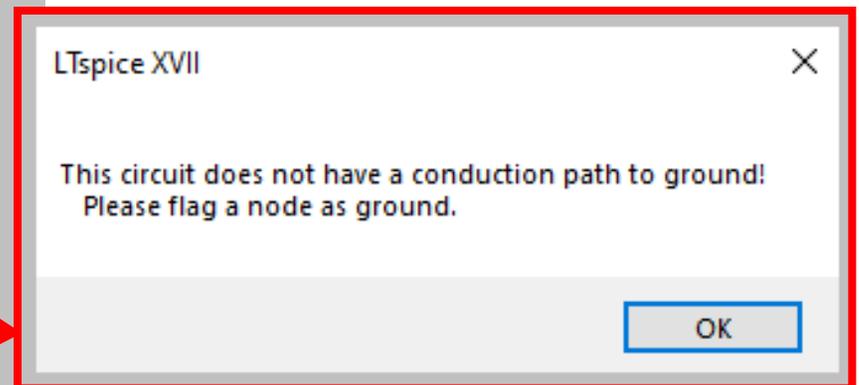
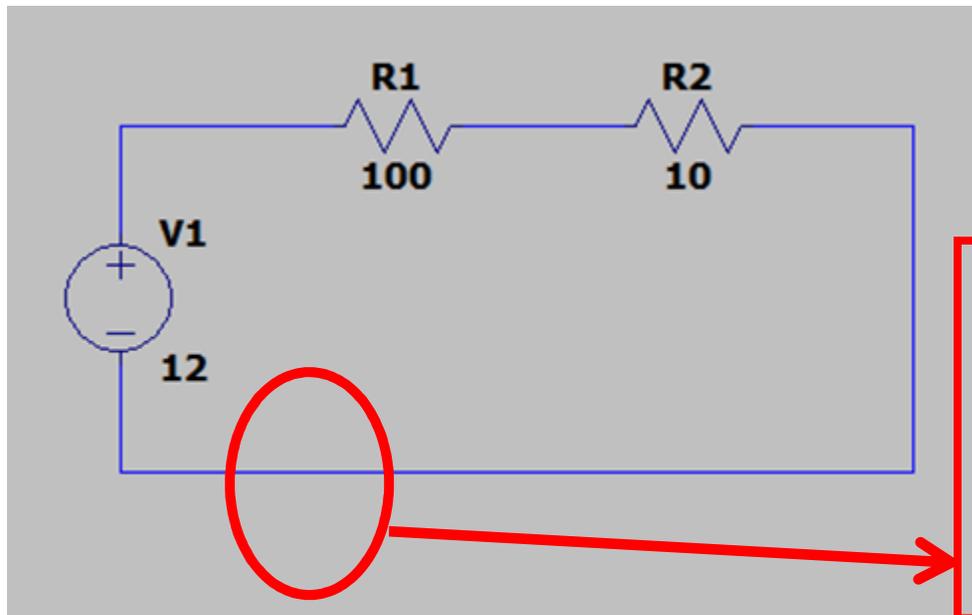
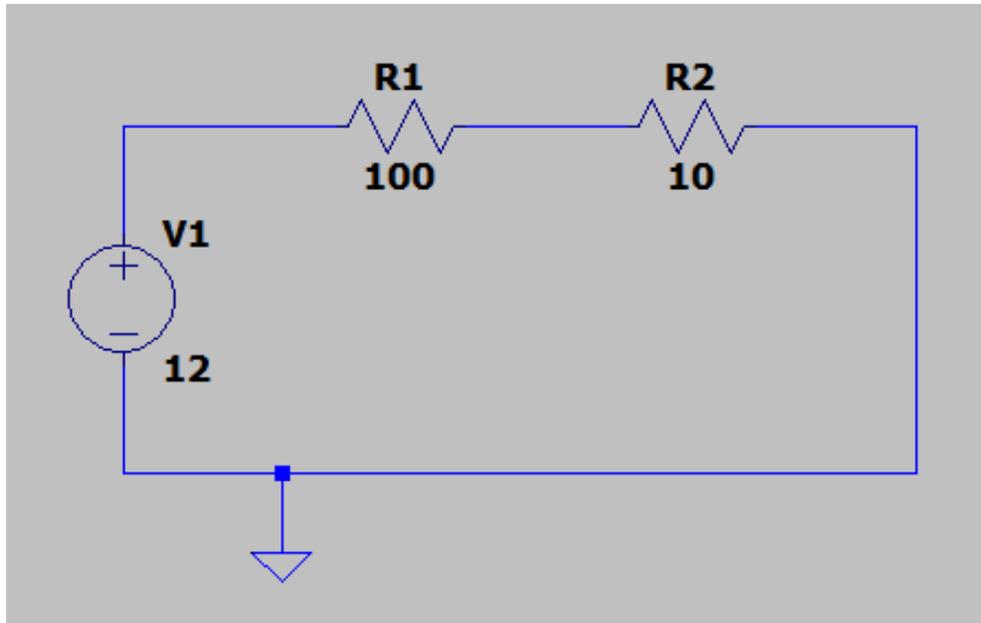
 Resistor - R2 ✕

Manufacturer: -----
Part Number: -----

Resistor Properties

Resistance[Ω]:	<input type="text" value="10"/>
Tolerance[%]:	<input type="text"/>
Power Rating[W]:	<input type="text"/>

- Se debería tener el siguiente circuito:



Sufijos en LTSPICE

- Si se quisiera ponerle a una resistencia un valor de 10 kΩ, deberíamos ponerle **“10k”**.
- Atención: la manera de poner M (“Mega”) es **“MEG”** o **“meg”**, **no “M”** (LTspice no distingue mayúsculas de minúsculas en los sufijos de los valores). Si se quisiera ponerle a una resistencia un valor de 1 MΩ, deberíamos ponerle **“1Meg”**.

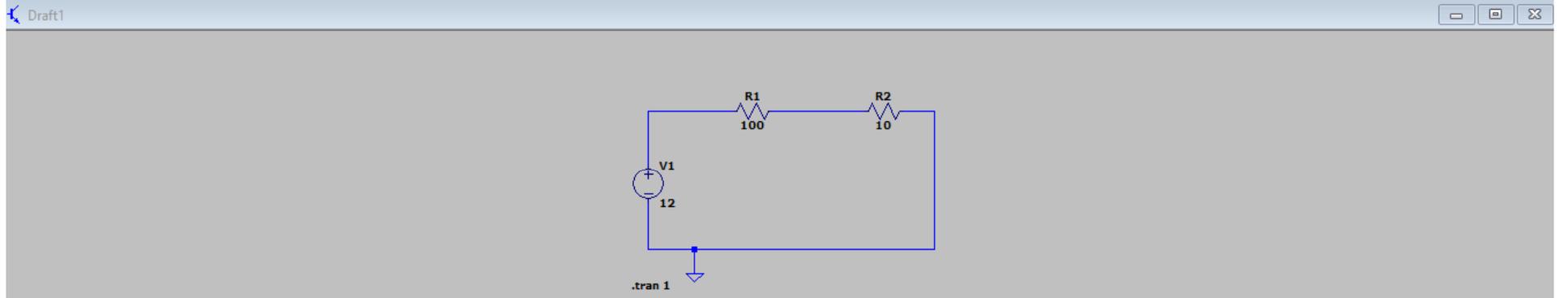
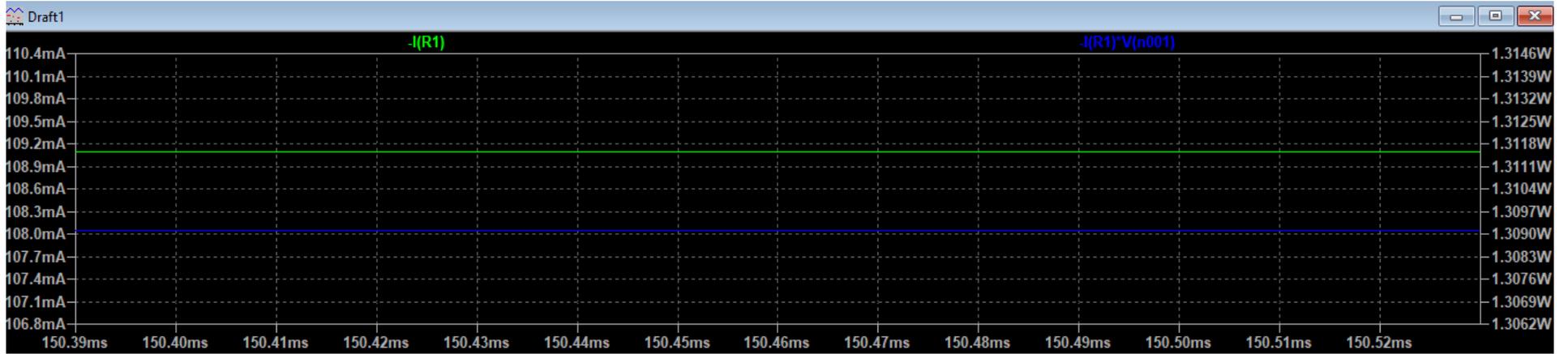
SPICE Suffix ^[13]	Metric Name	Numeric Value
T	tera	10 ¹²
G	giga	10 ⁹
MEG	mega	10 ⁶
K	kilo	10 ³
m	milli	10 ⁻³
u or μ	micro	10 ⁻⁶
n	nano	10 ⁻⁹
p	pico	10 ⁻¹²
f	femto	10 ⁻¹⁵
mil	thou	25.4 x 10 ⁻⁶

Correr la simulación

- Ahora procederemos a correr la simulación y observar los resultados obtenidos.
- Pulsar el icono 
- Aparecerá un cuadro en el cual **se debe elegir el tipo de simulación** (los usuales son **“transient”**: transitorio, evolución del circuito en el tiempo; **“DC”**: continua; **“AC”**: respuesta en frecuencia del circuito).
- Elegir **“transient”**, poner **“Stop time” = 1** (está en segundos), dejar lo demás sin cambiar.
- Ahora se puede colocar “voltímetros” y “amperímetros” para medir tensión y corriente en distintos puntos del circuito.

Graficar potencia en función del tiempo

- Además de graficar tensiones y corrientes del circuito, se puede graficar expresiones.
Esto resulta útil para graficar potencia de un componente en el tiempo: $P(t) = V(t)I(t)$
- Pulsando el icono  se puede ver la lista de todos los voltajes y corrientes del circuito. Las corrientes muestran entre paréntesis el componente que atraviesan, y los voltajes el nombre del nodo (se irán nombrando automáticamente N001, N002..., aunque se los puede renombrar haciendo click en el icono ).
- Haciendo click derecho en una señal, se puede editar la expresión, y escribir por ejemplo “V(N002,N001)*I(R1)” para obtener la potencia consumida por la resistencia R1 en el tiempo.



Variar paramétricamente un valor

- **Cambiar el valor de una de las resistencias a “{R}”** (los paréntesis en llave { } son importantes, son la manera con la cual LTspice se da cuenta de que R es un parámetro).
- Crear una directiva SPICE, para esto pulsar el icono  y escribir: **.step param R list 10 50 100**
(De esta manera, se variará el valor de R a los valores 10, 50, y 100).
- Si se grafica una tensión o corriente del circuito, aparecerán 3 gráficas (una para $R=10\Omega$, otra para $R=50\Omega$, y otra para $R=100\Omega$).

Resistor - R

Manufacturer: -----

Part Number: -----

Select Resistor

OK

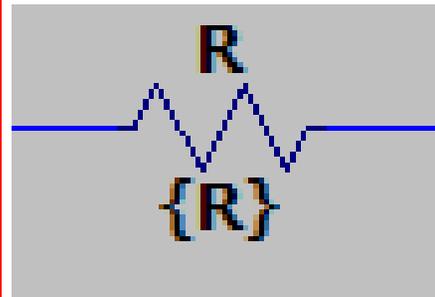
Cancel

Resistor Properties

Resistance[Ω]: {R}

Tolerance[%]:

Power Rating[W]:



Edit Text on the Schematic:

How to netlist this text

Comment

SPICE directive

Justification

Left

Vertical Text

Font Size

1.5(default)

OK

Cancel

.step param R list 10 50 100

Type Ctrl-M to start a new line.

.step Statement Editor

.step is used to overlay simulation results while sweeping user-defined parameters.

Name of parameter to sweep: R

Nature of sweep: List

1st value: 10

2nd value: 50

3rd value: 100

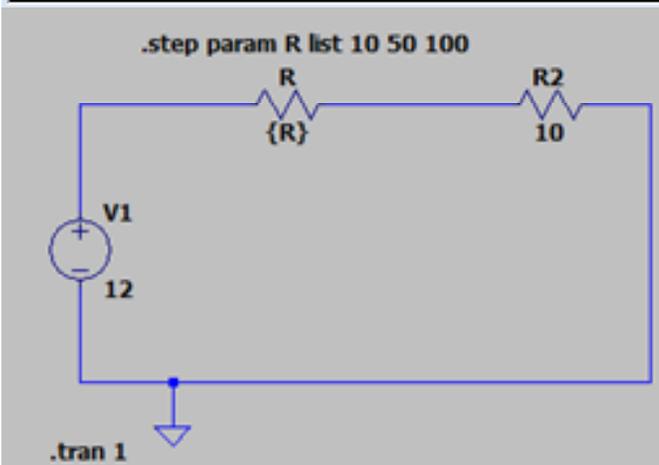
Syntax: .step param <Name> list <value 1> [<value2> [<value3> [...]]]

.step param R list 10 50 100

Cancel

OK

.step param R list 10 50 100



Si $R = 10$, $I = E / (R_1 + R_2) = 12 / (10 + 10) = 600\text{mA}$

Si $R = 50$, $I = E / (R_1 + R_2) = 12 / (50 + 10) = 200\text{mA}$

Si $R = 100$, $I = E / (R_1 + R_2) = 12 / (100 + 10) = 109.1\text{mA}$