

01_diodo_y_aplicaciones

June 19, 2026

1 Temas 2 y 3 - El Diodo y sus Aplicaciones

Fundamentos de Electrónica - 2º GIERM

1.1 Objetivos de aprendizaje

- Comprender la física de la unión PN y la ecuación de Shockley
- Conocer los tres modelos linealizados del diodo y cuándo usar cada uno
- Aplicar la metodología sistemática de análisis de circuitos con diodos
- Analizar rectificadores de media onda y onda completa
- Calcular el efecto del filtrado con condensador en rectificadores
- Diseñar reguladores de tensión con diodo Zener

Configuración lista.

2 PARTE 1: El Diodo (Tema 2)

2.1 1. Introducción: Semiconductores

2.1.1 1.1 Materiales semiconductores

Los materiales semiconductores más utilizados en electrónica son el **silicio (Si)** y el **germanio (Ge)**, ambos de la columna IV de la tabla periódica. Su estructura cristalina es de tipo diamante, con **4 enlaces covalentes** por átomo.

A temperatura ambiente, algunos enlaces se rompen generando **pares electrón-hueco**. La recombinación es el proceso inverso.

2.1.2 1.2 Semiconductor intrínseco

En un semiconductor puro (intrínseco), la concentración de electrones n y huecos p son iguales:

$$n \cdot p = n_i^2$$

donde n_i es la **concentración intrínseca**:

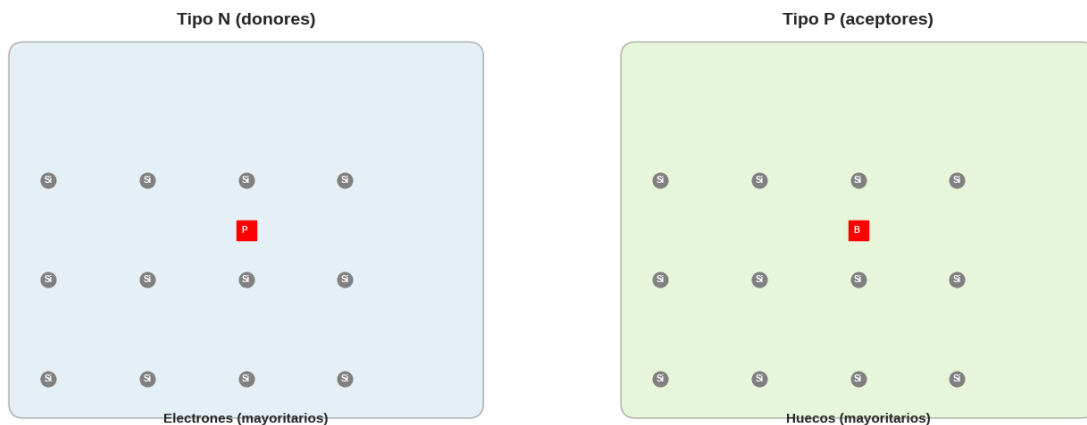
Material	n_i a 300 K
Si	$1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$
Ge	$2.4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$

2.1.3 1.3 Dopaje: semiconductores extrínsecos

Tipo N (donores, columna V: P, As, Sb): - Se añaden átomos con 5 electrones de valencia - Portadores mayoritarios: **electrones** ($n \approx N_D$) - Portadores minoritarios: huecos ($p = n_i^2/N_D$)

Tipo P (aceptores, columna III: B, Al, Ga): - Se añaden átomos con 3 electrones de valencia - Portadores mayoritarios: **huecos** ($p \approx N_A$) - Portadores minoritarios: electrones ($n = n_i^2/N_A$)

Clave: El dopaje no cambia la carga neta del material (sigue siendo neutro), solo redistribuye los portadores.



2.2 2. La unión PN

2.2.1 2.1 Formación de la zona de depleción

Cuando se une un semiconductor tipo P con uno tipo N, se produce una **difusión** de portadores mayoritarios a través de la unión: - Electrones del lado N difunden hacia P - Huecos del lado P difunden hacia N

Esto deja iones fijos (cargas no compensadas) que crean un **campo eléctrico interno** $\vec{E}$ que se opone a la difusión. Se establece una **zona de carga espacial** (zona de depleción) donde no hay portadores libres.

Equilibrio: La corriente de difusión y la corriente de arrastre se anulan mutuamente.

2.2.2 2.2 Polarización de la unión PN

Polarización	V_D	Zona depleción	Corriente I_D
Directa	$V_D > 0$	Se estrecha	Grande, $I_D > 0$
Inversa	$V_D < 0$	Se ensancha	Muy pequeña, $I_D \approx -I_o$
Ruptura	$V_D < -V_Z$	Avalancha/Zener	Grande en inversa

2.2.3 2.3 Ecuación de Shockley

$$I_D = I_o (e^{V_D/\varphi_T} - 1)$$

donde: - I_o : corriente de saturación inversa (típico 10^{-12} a 10^{-15} A para Si) - $\varphi_T = \frac{kT}{q} \approx 0.025$ V a 300 K (potencial térmico)

Con factor de idealidad η :

$$I_D = I_o (e^{V_D/(\eta\varphi_T)} - 1)$$

- $\eta = 1$ para Ge (corrientes bajas)
- $\eta = 2$ para Si (corrientes altas, recombinación en zona depleción)

2.2.4 2.4 Capacitancias parásitas

- C_T (**transición**): debida a la zona de depleción (como un condensador de placas paralelas). Dominante en inversa.
- C_D (**difusión**): debida a los portadores almacenados en directa. Dominante en directa.

2.3 3. El Diodo

2.3.1 3.1 Estructura y símbolo

El diodo es un dispositivo de **dos terminales** formado por una unión PN: - **Ánodo (A)**: terminal conectado al lado P - **Cátodo (K)**: terminal conectado al lado N

Convención de signos: - V_D : tensión ánodo - cátodo (positiva en directa) - I_D : corriente que entra por el ánodo (positiva en directa)

2.3.2 3.2 Curva característica

La curva I_D vs V_D tiene **tres regiones**:

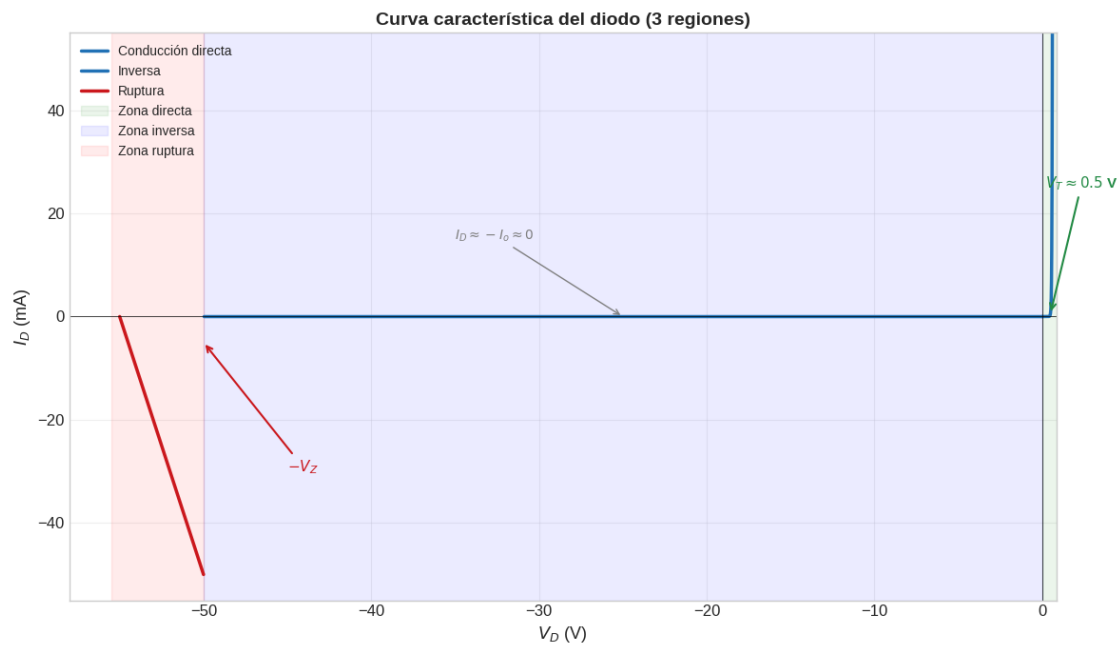
1. **Conducción directa** ($V_D > V_T$): corriente crece exponencialmente
2. **Inversa** ($-V_Z < V_D < V_T$): corriente $\approx -I_o$ (despreciable)
3. **Ruptura** ($V_D < -V_Z$): corriente inversa muy grande

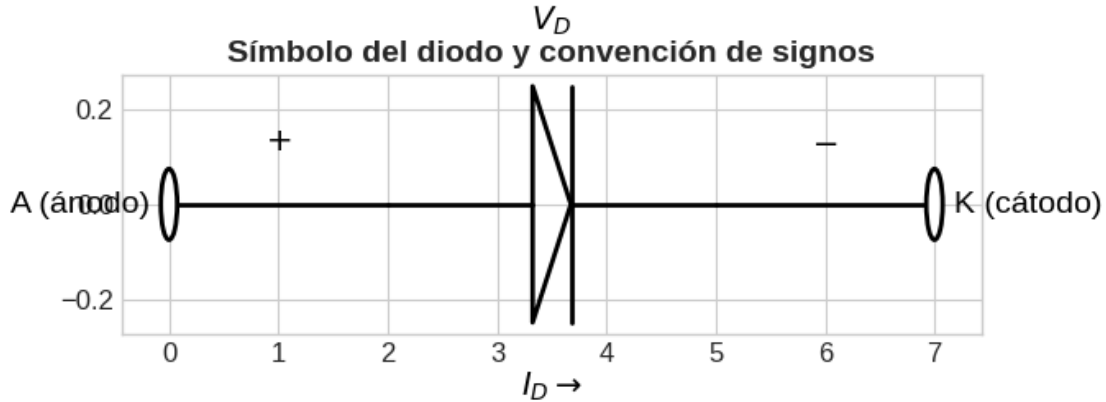
2.3.3 3.3 Parámetros característicos

Parámetro	Símbolo	Valor típico (Si)	Descripción
Tensión umbral	V_T	$\approx 0.5 \text{ V}$	Inicio de conducción
Tensión directa	V_F	$\approx 0.7 \text{ V}$	Caída típica en conducción
Corriente inversa	I_o	$10^{-12} - 10^{-15} \text{ A}$	Corriente de saturación
Tensión Zener	V_Z	Variable	Tensión de ruptura
Potencia máx.	P_{max}	Según encapsulado	Límite térmico

2.3.4 3.4 Efecto de la temperatura

- I_o se **duplica** cada 10°C de aumento
- V_D disminuye $\approx -2.5 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ (a corriente constante)
- En resumen: **más caliente = conduce antes** (menor V_F)





2.4 4. Modelos linealizados de gran señal

Para resolver circuitos a mano, sustituimos la curva exponencial del diodo por **modelos lineales** de complejidad creciente.

2.4.1 Modelo 1: Diodo con $V_F > 0$ (el más usado)

Estado	Modelo
Conducción ($I_D > 0$)	$V_D = V_F$ (fuente de tensión, típ. 0.7 V para Si)
Corte ($V_D < V_F$)	$I_D = 0$ (circuito abierto)
Ruptura ($V_D < -V_Z$)	$V_D = -V_Z$

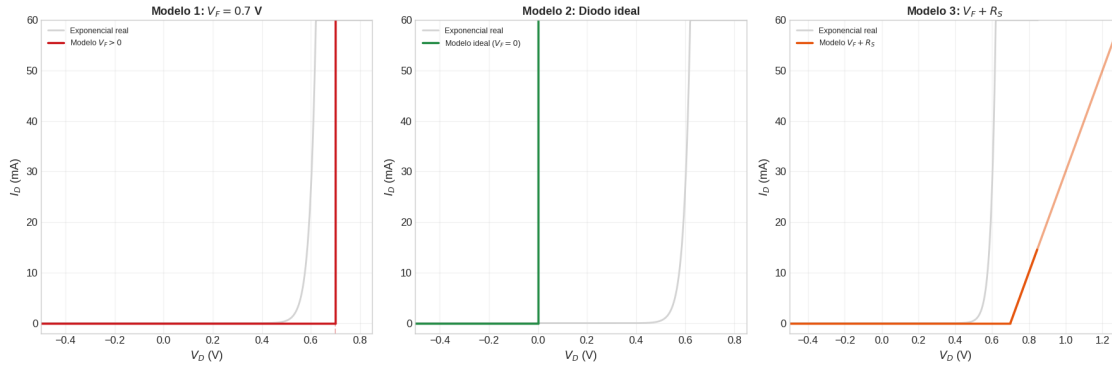
2.4.2 Modelo 2: Diodo ideal ($V_F = 0$)

Estado	Modelo
Conducción ($I_D > 0$)	$V_D = 0$ (cortocircuito)
Corte ($V_D < 0$)	$I_D = 0$ (circuito abierto)

2.4.3 Modelo 3: Diodo con $V_F > 0$ y resistencia serie R_S

Estado	Modelo
Conducción ($I_D > 0$)	$V_D = V_F + I_D \cdot R_S$
Corte ($V_D < V_F$)	$I_D = 0$ (circuito abierto)

Error frecuente: Confundir V_T (umbral, ≈ 0.5 V) con V_F (caída en conducción, ≈ 0.7 V). En los modelos linealizados usamos V_F .



2.5 5. Análisis de circuitos con diodos

2.5.1 5.1 Punto de operación

El **punto de operación** (Q) es la intersección entre: - La **curva del diodo**: $I_D = I_o(e^{V_D/\varphi_T} - 1)$
 - La **recta de carga**: $I_D = -\frac{V_D}{R} + \frac{V_{CC}}{R}$

La recta de carga se obtiene por KVL en el circuito: $V_{CC} = R \cdot I_D + V_D$

2.5.2 5.2 Métodos de resolución

1. **Exacto (exponencial)**: Resolver $I_o(e^{V_D/\varphi_T} - 1) = (V_{CC} - V_D)/R$ (ecuación trascendente, necesita métodos numéricos)
2. **Simulación (SPICE)**: El ordenador resuelve iterativamente
3. **Modelos linealizados**: Sustituir el diodo por su modelo y resolver el circuito lineal resultante

2.5.3 5.3 Metodología de 5 pasos (FUNDAMENTAL)

1. Suponer estado $\rightarrow$ 2. Sustituir modelo $\rightarrow$ 3. Resolver $\rightarrow$ 4. Verificar $\rightarrow$ 5. Repetir si falla

Paso 1: Suponer que el diodo conduce ($I_D > 0$, $V_D = V_F$)

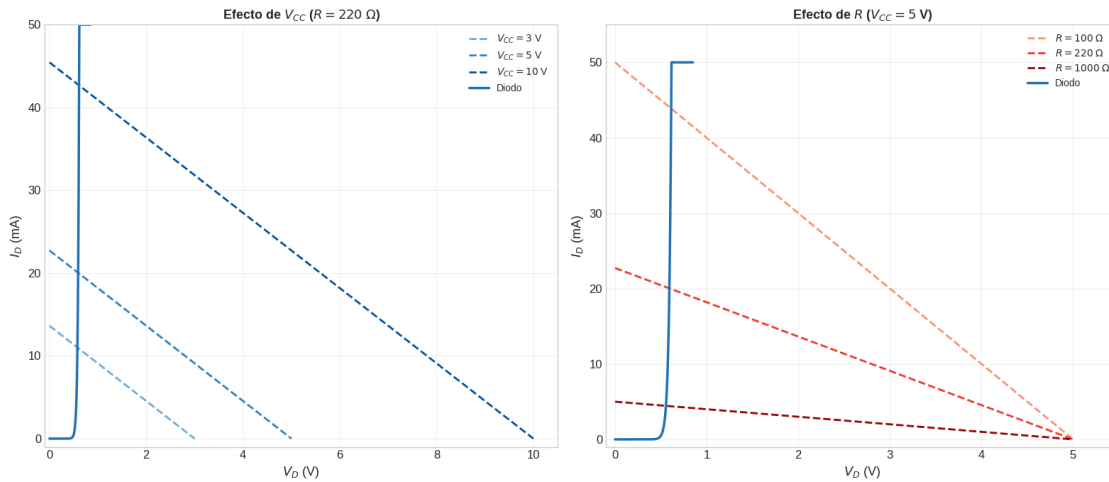
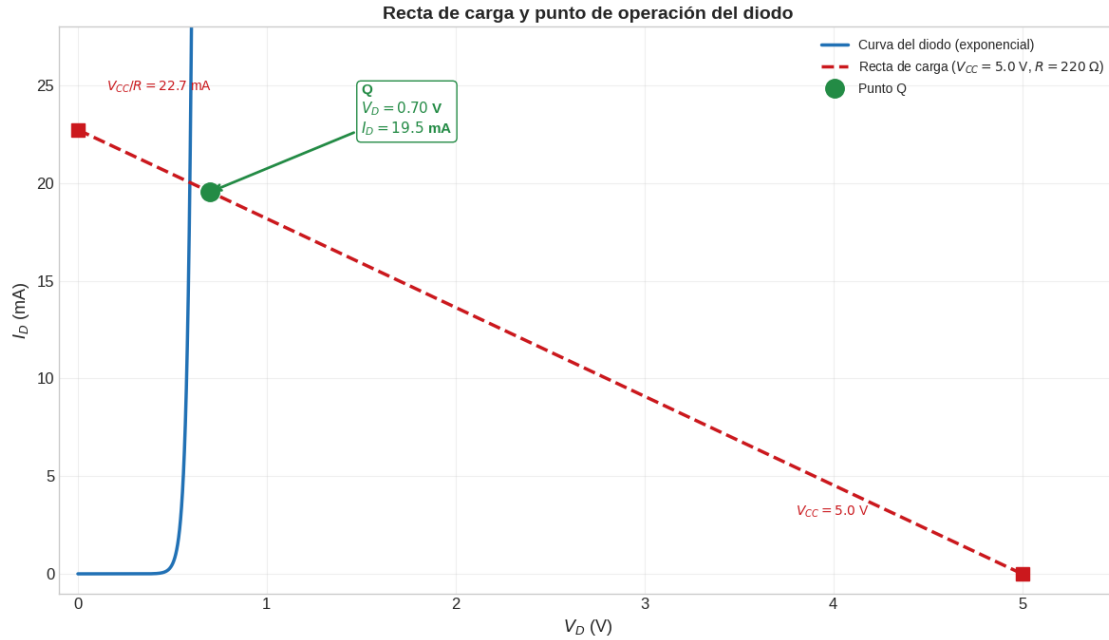
Paso 2: Sustituir el diodo por una fuente de tensión V_F

Paso 3: Resolver el circuito lineal (KVL, KCL)

Paso 4: Verificar que $I_D > 0$. Si se cumple, la hipótesis es correcta

Paso 5: Si $I_D < 0$, la hipótesis falla. Suponer corte ($I_D = 0$, circuito abierto) y resolver de nuevo

Truco para el examen: Si hay varios diodos, empieza suponiendo que todos conducen. Es más rápido que adivinar cuál está en corte.



2.6 6. Tipos de diodos

Tipo	Característica principal	V_F típica	Aplicación
Rectificador	Unión PN estándar	0.7 V (Si)	Rectificación de AC a DC
Zener	Diseñado para operar en ruptura	V_Z (2.4 - 200 V)	Regulación de tensión

Tipo	Característica principal	V_F típica	Aplicación
Schottky	Unión metal-semiconductor	≈ 0.2 V	Conmutación rápida
LED	Emite luz en directa	1.8 - 3.5 V (según color)	Indicación, iluminación
PIN fotodiodo	Detecta luz en inversa	-	Comunicaciones ópticas
APD	Fotodiodo con ganancia de avalancha	-	Detección débil

Diodo Zener: En polarización inversa, cuando $V_D < -V_Z$, el diodo entra en ruptura controlada. La tensión V_Z se mantiene aproximadamente constante. Esto lo hace ideal para **regulación de tensión**.

LED: La tensión directa depende del color (energía del fotón emitido): - Rojo: ≈ 1.8 V - Verde: ≈ 2.2 V - Azul: ≈ 3.3 V

3 PARTE 2: Aplicaciones del Diodo (Tema 3)

3.1 7. Rectificación de ondas: parámetros de señal

Antes de analizar los circuitos rectificadores, definimos los parámetros clave de cualquier señal periódica:

Parámetro	Símbolo	Fórmula general
Valor medio (DC)	V_m o V_{DC}	$\frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt$
Valor eficaz (RMS)	V_{ef}	$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$
Valor pico a pico	V_{pp}	$v_{max} - v_{min}$
Factor de rizado	f_r	$\frac{V_{pp}}{V_{DC}} \times 100\%$

Para una senoide $v(t) = V_p \sin(2\pi ft)$:

$$V_{DC} = 0 \quad V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad V_{pp} = 2V_p \quad f_r = \text{no definido}$$

3.2 8. Rectificador de media onda

3.2.1 8.1 Circuito

Fuente AC $\rightarrow$ Diodo $\rightarrow$ Resistencia R

El diodo solo deja pasar el semiciclo positivo.

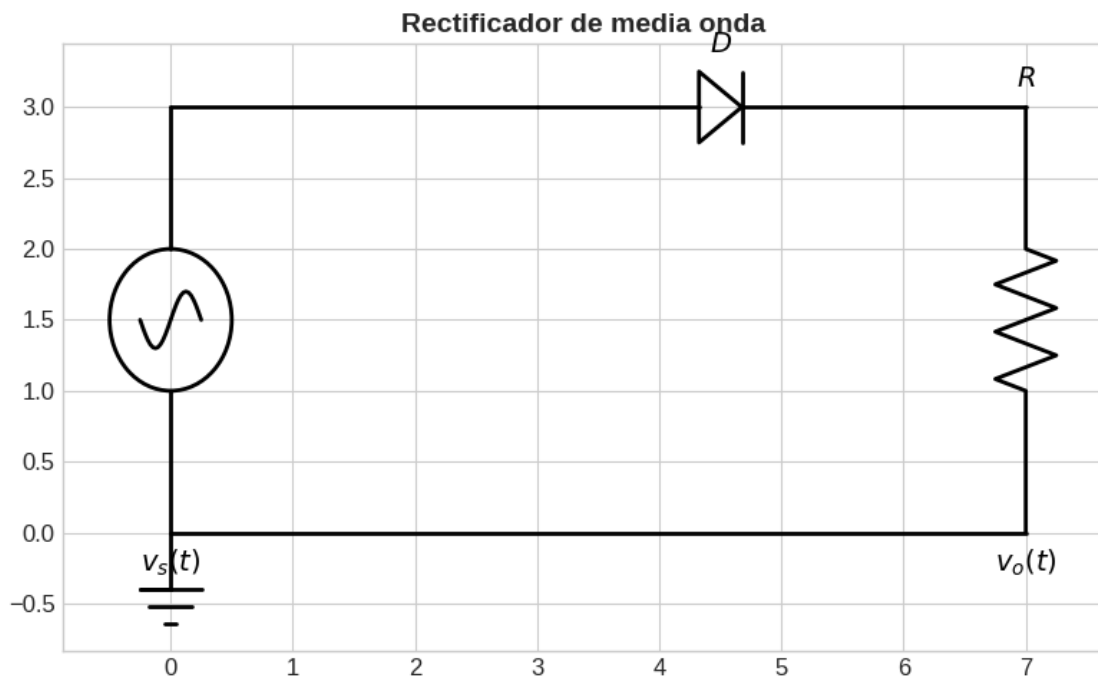
3.2.2 8.2 Análisis con diodo ideal ($V_F = 0$)

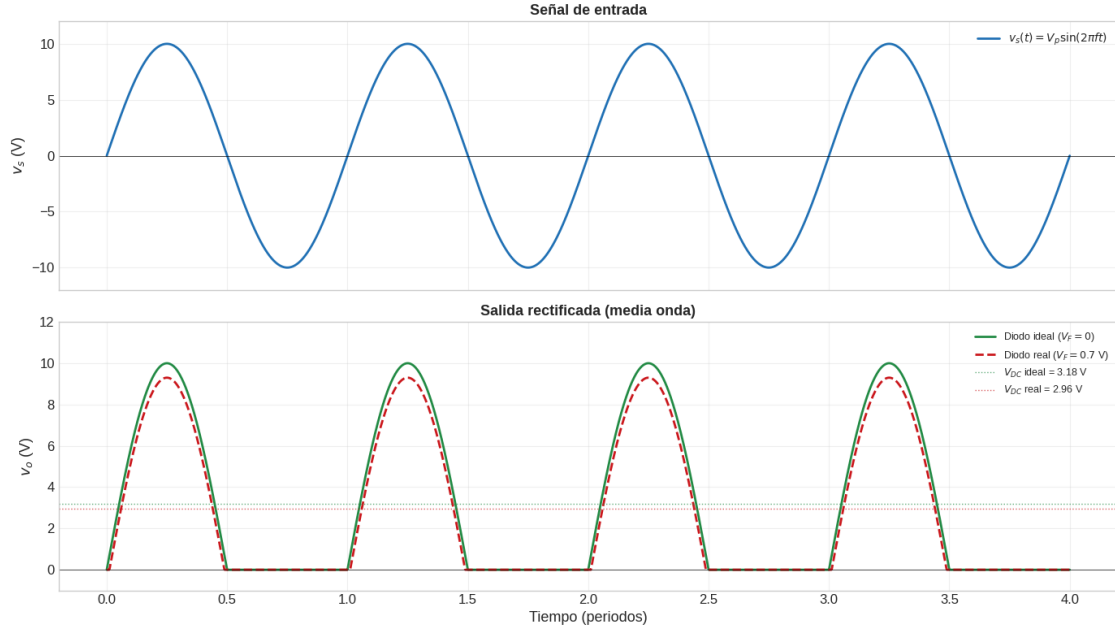
$$\boxed{V_{DC} = \frac{V_p}{\pi}} \quad V_{ef} = \frac{V_p}{2} \quad V_{pp} = V_p \quad f_r = \frac{V_p}{V_p/\pi} = \pi = 314\%$$

3.2.3 8.3 Con diodo real ($V_F = 0.7 \text{ V}$)

La salida se reduce en V_F . El pico de salida es $V_p - V_F$:

$$V_{DC} = \frac{V_p - V_F}{\pi}$$





3.3 9. Rectificador de onda completa (puente)

3.3.1 9.1 Circuito

Se usan **4 diodos en puente** (puente de Graetz). En cada semiciclo conducen 2 diodos:

- **Semiciclo positivo** ($v_s > 0$): conducen D_1 y D_3
- **Semiciclo negativo** ($v_s < 0$): conducen D_2 y D_4

La corriente siempre circula en el **mismo sentido** por la carga R .

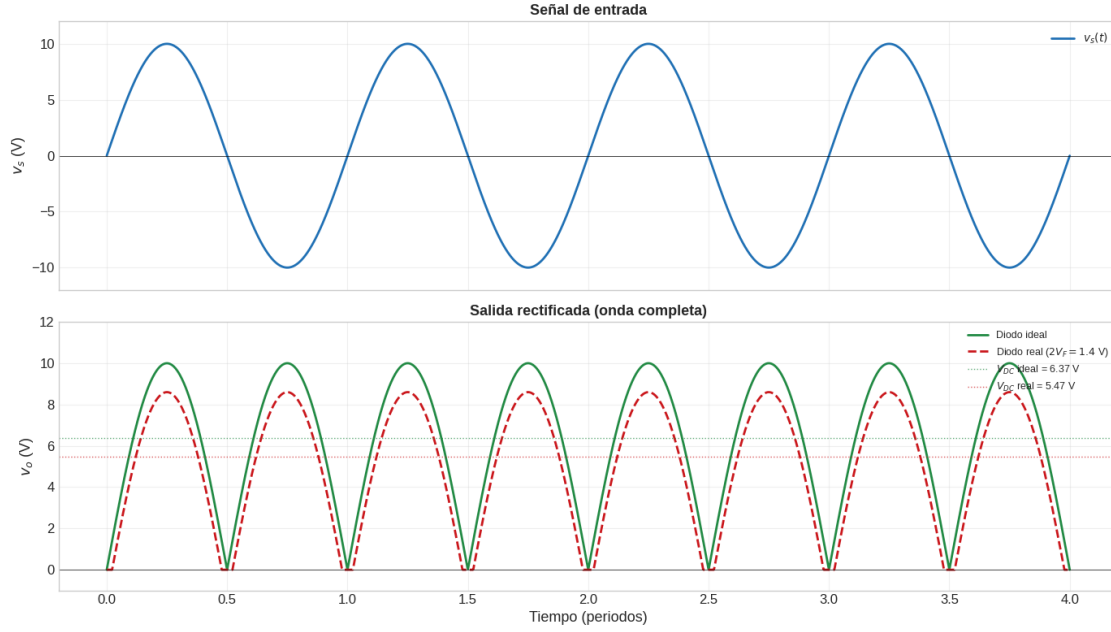
3.3.2 9.2 Análisis con diodo ideal

$$\boxed{V_{DC} = \frac{2V_p}{\pi}} \quad V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad V_{pp} = V_p \quad f_r = \frac{V_p}{2V_p/\pi} = \frac{\pi}{2} = 157\%$$

3.3.3 9.3 Con diodo real

En cada semiciclo hay **2 diodos en serie**, por lo que la salida se reduce en $2V_F$:

$$V_{DC} = \frac{2(V_p - 2V_F)}{\pi}$$



3.4 10. Rectificador con condensador (filtro)

3.4.1 10.1 Funcionamiento

Se añade un **condensador C en paralelo con R** para suavizar la salida.

Fase de carga: Cuando $v_s > v_C$, el diodo conduce y el condensador se carga rápidamente siguiendo a la fuente.

Fase de descarga: Cuando $v_s < v_C$, el diodo entra en corte y el condensador se descarga a través de R con constante de tiempo $\tau = RC$.

3.4.2 10.2 Efectos del filtrado

- V_{DC} **aumenta** (se acerca a V_p)
- V_{pp} **disminuye** (menor rizado)
- f_r **disminuye** (mejor calidad DC)

3.4.3 10.3 Aproximación para el rizado (media onda)

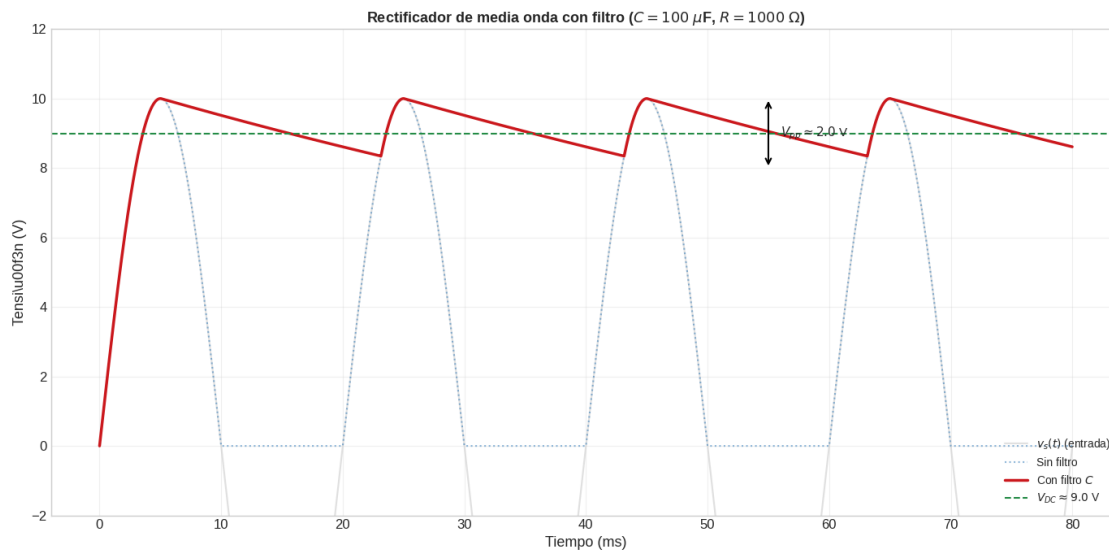
Si $RC \gg T$ (descarga lenta):

$$V_{pp} \approx \frac{V_p}{f \cdot R \cdot C}$$

$$V_{DC} \approx V_p - \frac{V_{pp}}{2} = V_p - \frac{V_p}{2fRC}$$

Para onda completa, la frecuencia de rizado es $2f$, por lo que:

$$V_{pp,completa} \approx \frac{V_p}{2f \cdot R \cdot C}$$



3.5 11. El diodo Zener y la regulación de tensión

3.5.1 11.1 ¿Qué es un diodo Zener y en qué se diferencia de un diodo normal?

Un diodo Zener es un diodo **diseñado para funcionar en la zona de ruptura inversa** de forma controlada y segura. A diferencia de un diodo rectificador (que se destruye en ruptura), el Zener mantiene una **tensión prácticamente constante** V_Z mientras la corriente que lo atraviesa esté dentro de sus límites.

En directa: se comporta exactamente como un diodo normal ($V_F \approx 0.7 \text{ V}$).

En inversa: cuando la tensión inversa alcanza V_Z , el Zener “se enciende” y **fija la tensión** a V_Z independientemente de la corriente (dentro de los límites).

3.5.2 11.2 ¿Qué significa “regular” tensión?

Regular = mantener la tensión de salida **constante** aunque cambien las condiciones externas: - Que varíe la fuente de alimentación V_{CC} (regulación de línea) - Que varíe la carga R_L (regulación de carga)

Sin regulador: si V_{CC} sube, V_{out} sube proporcionalmente. Con Zener: $V_{out} = V_Z = \text{constante}$.

3.5.3 11.3 Las variables del circuito Zener y qué significa cada una

Variable	Significado	Unidad
V_Z	Tensión Zener: la tensión que el diodo mantiene constante en ruptura	V
I_{ZK}	Corriente mínima (knee current): la mínima corriente para que el Zener regule. Si $I_Z < I_{ZK}$, el Zener no mantiene V_Z constante	mA
I_{ZM}	Corriente máxima: si $I_Z > I_{ZM}$, el Zener se destruye por exceso de potencia ($P = V_Z \cdot I_Z > P_{max}$)	mA
R_S	Resistencia serie (o limitadora): protege al Zener de corriente excesiva. Absorbe la diferencia de tensión $V_{CC} - V_Z$	Ω
R_L	Resistencia de carga: el circuito que queremos alimentar con tensión regulada V_Z	Ω
I_{R_S}	Corriente que circula por R_S : toda la corriente que viene de V_{CC}	mA
I_{R_L}	Corriente por la carga: $I_{R_L} = V_Z/R_L$ (constante mientras el Zener regula)	mA
I_Z	Corriente por el Zener: lo que “sobra” después de alimentar la carga: $I_Z = I_{R_S} - I_{R_L}$	mA

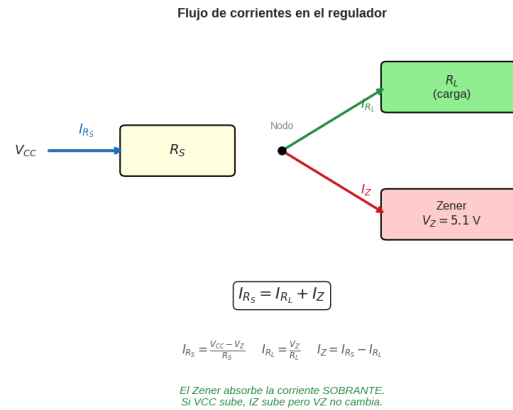
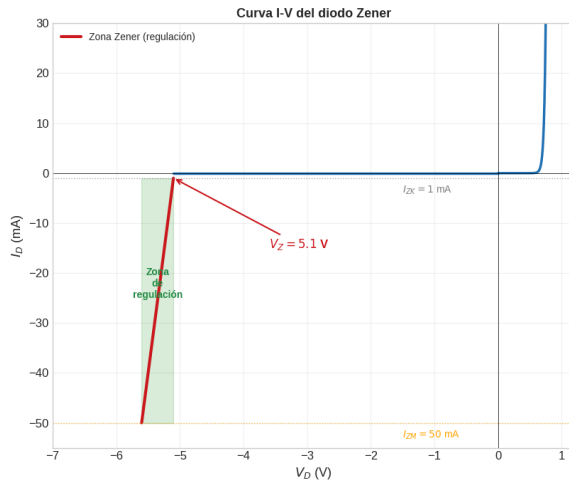
3.5.4 11.4 ¿Cómo funciona la regulación? (paso a paso intuitivo)

El truco: el Zener actúa como una “válvula de escape” para la corriente sobrante.

1. La fuente V_{CC} empuja corriente a través de R_S : $I_{R_S} = (V_{CC} - V_Z)/R_S$
2. La carga consume una corriente fija: $I_{R_L} = V_Z/R_L$
3. **Todo lo que sobra** se lo “traga” el Zener: $I_Z = I_{R_S} - I_{R_L}$
 - Si V_{CC} **sube** $\rightarrow I_{R_S}$ sube $\rightarrow$ pero I_{R_L} no cambia (porque V_Z es constante) $\rightarrow I_Z$ sube $\rightarrow$ el Zener absorbe el exceso. **La carga no se entera.**
 - Si V_{CC} **baja** $\rightarrow I_{R_S}$ baja $\rightarrow I_Z$ baja $\rightarrow$ el Zener absorbe menos. Si baja demasiado, $I_Z < I_{ZK}$ y pierde la regulación.

3.5.5 11.5 Las tres zonas de funcionamiento

Zona	Condición	¿Regula?	V_{out}
Zener OFF	$V_{CC} < V_Z$ o $I_Z < I_{ZK}$	No	$V_{out} = V_{CC} \cdot R_L / (R_S + R_L)$ (divisor)
Regulación	$I_{ZK} \leq I_Z \leq I_{ZM}$	Sí	$V_{out} = V_Z$ (constante)
Destrucción	$I_Z > I_{ZM}$	No (se rompe)	V_Z pero el Zener muere



3.5.6 11.6 Las fórmulas del regulador Zener (con significado físico)

Fórmula 1: Corriente por la resistencia serie

$$I_{R_S} = \frac{V_{CC} - V_Z}{R_S}$$

Significado: R_S absorbe la diferencia de tensión entre la fuente y la salida. Si V_{CC} cambia, **toda la variación la absorbe R_S** , no la carga.

Por qué funciona: como V_Z es constante, la caída en R_S es $V_{CC} - V_Z$. Si V_{CC} sube, la caída en R_S sube $\rightarrow$ más corriente $\rightarrow$ el Zener absorbe el exceso.

Fórmula 2: Corriente por la carga

$$I_{R_L} = \frac{V_Z}{R_L}$$

Significado: la carga siempre ve V_Z en sus bornes, así que su corriente es **constante**. No depende de V_{CC} ni de nada más. Esto es el objetivo de la regulación.

Fórmula 3: Corriente por el Zener

$$I_Z = I_{R_S} - I_{R_L} = \frac{V_{CC} - V_Z}{R_S} - \frac{V_Z}{R_L}$$

Significado: el Zener es la “papelera” del circuito. Se traga todo lo que sobra. Si V_{CC} sube, I_{R_S} sube pero I_{R_L} no cambia, así que I_Z sube. Es el elemento de ajuste.

Fórmula 4: Rango de regulación (V_{CC} mínima y máxima)

$$V_{CC,min} = R_S \cdot (I_{R_L} + I_{ZK}) + V_Z$$

Significado: la V_{CC} mínima es la que produce la corriente **justa** para alimentar la carga (I_{R_L}) más la mínima del Zener (I_{ZK}). Por debajo de esto, el Zener deja de regular.

$$V_{CC,max} = R_S \cdot (I_{R_L} + I_{ZM}) + V_Z$$

Significado: la V_{CC} máxima es la que hace que el Zener alcance su corriente límite I_{ZM} . Por encima, el Zener se quema.

¿Cómo elegir R_S ? Si te dan V_{CC} y quieres que funcione, R_S debe cumplir:

$$R_S = \frac{V_{CC} - V_Z}{I_{R_L} + I_Z}$$

donde I_Z debe estar entre I_{ZK} e I_{ZM} . Un buen diseño usa $I_Z \approx I_{ZM}/2$ (punto medio).



3.6 11. Regulación de tensión con diodo Zener

3.6.1 11.1 Circuito

El circuito básico consta de: - Fuente V_{CC} + Resistencia serie R_S + (Carga R_L en paralelo con diodo Zener)

3.6.2 11.2 Análisis

Cuando el Zener está en ruptura ($V_D = -V_Z$):

- **KCL:** $I_{R_S} = I_{R_L} + I_D$
- **KVL:** $V_{CC} = R_S \cdot I_{R_S} + V_Z$
- **Carga:** $I_{R_L} = V_Z / R_L$ (constante)

Despejando:

$$\boxed{I_{R_S} = \frac{V_{CC} - V_Z}{R_S}} \quad I_D = I_{R_S} - I_{R_L} = \frac{V_{CC} - V_Z}{R_S} - \frac{V_Z}{R_L}$$

3.6.3 11.3 Rango de regulación

Para que el Zener funcione correctamente: $I_{ZK} \leq I_D \leq I_{ZM}$

donde I_{ZK} es la corriente mínima de Zener (rodilla) y I_{ZM} es la máxima.

$$\boxed{V_{CC,min} = R_S \left(\frac{V_Z}{R_L} + I_{ZK} \right) + V_Z}$$

$$\boxed{V_{CC,max} = R_S \left(\frac{V_Z}{R_L} + I_{ZM} \right) + V_Z}$$

Ejercicio resuelto: Regulador Zener Datos: $R_S = 0.1 \text{ k}\Omega = 100 \text{ }\Omega$, $R_L = 1 \text{ k}\Omega$, $V_Z = 5 \text{ V}$, $I_{ZK} = 1 \text{ mA}$, $I_{ZM} = 30 \text{ mA}$

Paso 1: Calcular la corriente por la carga

$$I_{R_L} = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{5}{1\text{k}\Omega} = 5 \text{ mA}$$

Paso 2: Rango de regulación

$$V_{CC,min} = R_S \left(\frac{V_Z}{R_L} + I_{ZK} \right) + V_Z = 100 \cdot (5\text{m} + 1\text{m}) + 5 = 0.6 + 5 = 5.6 \text{ V}$$

$$V_{CC,max} = R_S \left(\frac{V_Z}{R_L} + I_{ZM} \right) + V_Z = 100 \cdot (5\text{m} + 30\text{m}) + 5 = 3.5 + 5 = 8.5 \text{ V}$$

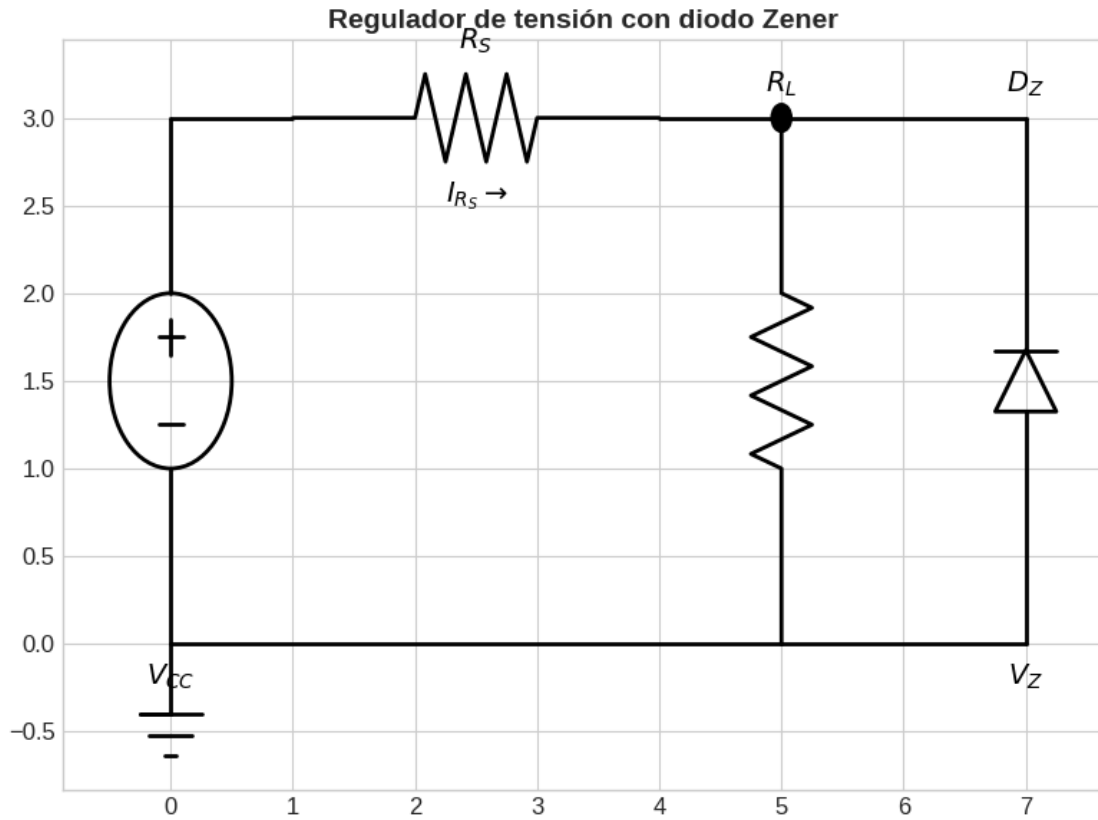
Resultado: El regulador funciona para $5.6 \text{ V} \leq V_{CC} \leq 8.5 \text{ V}$

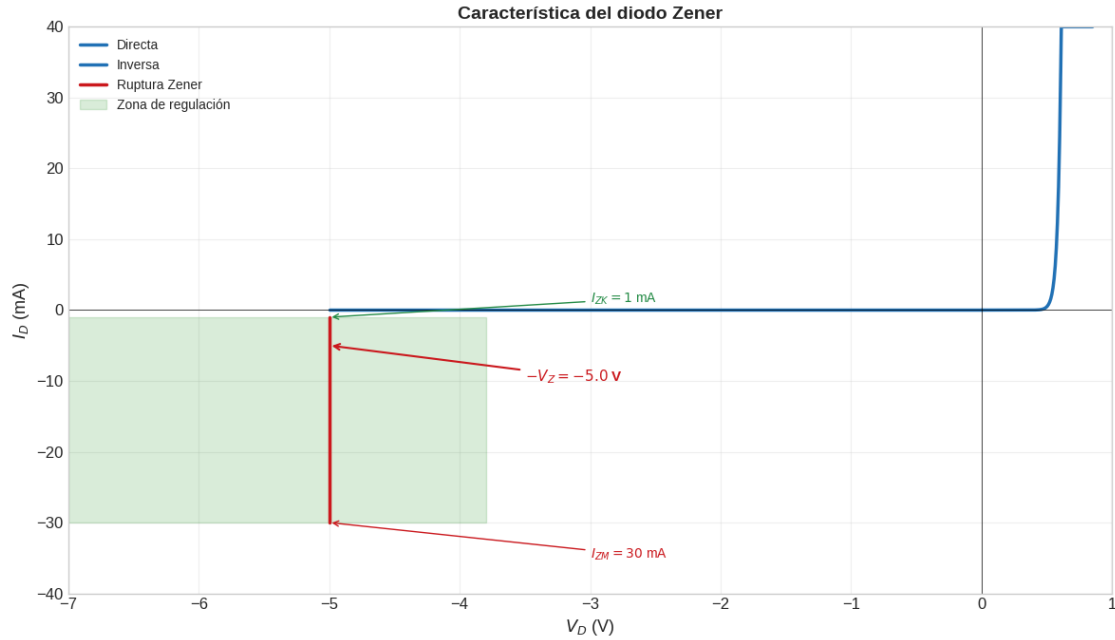
Paso 3: Para $V_{CC} = 7 \text{ V}$, encontrar I_D :

$$I_{R_S} = \frac{V_{CC} - V_Z}{R_S} = \frac{7 - 5}{100} = 20 \text{ mA}$$

$$I_D = I_{R_S} - I_{R_L} = 20 - 5 = 15 \text{ mA}$$

Verificación: $I_{ZK} = 1 \text{ mA} < I_D = 15 \text{ mA} < I_{ZM} = 30 \text{ mA} \rightarrow$ **Zener en regulación confirmado.**





3.7 12. Catálogo completo de ejercicios: todos los patrones

3.7.1 Tabla resumen de tipos

#	Tipo	Componentes	Ecuación clave	Dificultad
1	Circuito simple (R + D + V_{CC})	R, D, V_{CC}	$I_D = (V_{CC} - V_F)/R$	Básica
2	Dos diodos - determinar cuál conduce	$2D, R, V_{CC}$	Comparar tensiones en ánodos	Media
3	Diodo con modelo $V_F > 0$	R, D, V_{CC}	$V_D = V_F$ en conducción	Básica
4	Diodo ideal ($V_F = 0$)	R, D, V_{CC}	$V_D = 0$ en conducción	Básica
5	Diodo con R_S serie	$R, D(V_F, R_S), V_{CC}$	$V_D = V_F + I_D \cdot R_S$	Media

#	Tipo	Componentes	Ecuación clave	Dificultad
6	Rectificador media onda	D, R , fuente AC	$V_{DC} = V_p/\pi$	Básica
7	Rectificador onda completa	$4D, R$, fuente AC	$V_{DC} = 2V_p/\pi$	Media
8	Rectificador con condensador	D, R, C , AC	$V_{pp} = V_p/(fRC)$	Media
9	Regulador Zener - rango	R_S, R_L, D_Z	$V_{CC,min}, V_{CC,max}$	Media
10	Regulador Zener - encontrar I_D	R_S, R_L, D_Z	$I_D = I_{R_S} - I_{R_L}$	Básica
11	Circuito LED	R, LED, V_{CC}	$R = (V_{CC} - V_{LED})/I_F$	Básica
12	Diodo en inversa (corte)	R, D, V_{CC}	$I_D = 0, V_D < 0$	Básica

3.7.2 12.1 Tipo 1: Circuito simple R + D + V_{CC}

Circuito más básico: fuente V_{CC} , resistencia R y diodo D en serie.

$$I_D = \frac{V_{CC} - V_F}{R}$$

Cómo afectan los parámetros: - Si V_{CC} **aumenta** $\rightarrow I_D$ aumenta $\rightarrow$ más corriente por el diodo
- Si R **aumenta** $\rightarrow I_D$ disminuye $\rightarrow$ menos corriente - Si V_F **aumenta** (Ge $\rightarrow$ Si) $\rightarrow I_D$ disminuye ligeramente

Truco: Si $V_{CC} < V_F$, el diodo no conduce y $I_D = 0$.

Ejercicio resuelto: Tipo 1 Datos: $V_{CC} = 12$ V, $R = 2.2$ k Ω , diodo Si ($V_F = 0.7$ V)

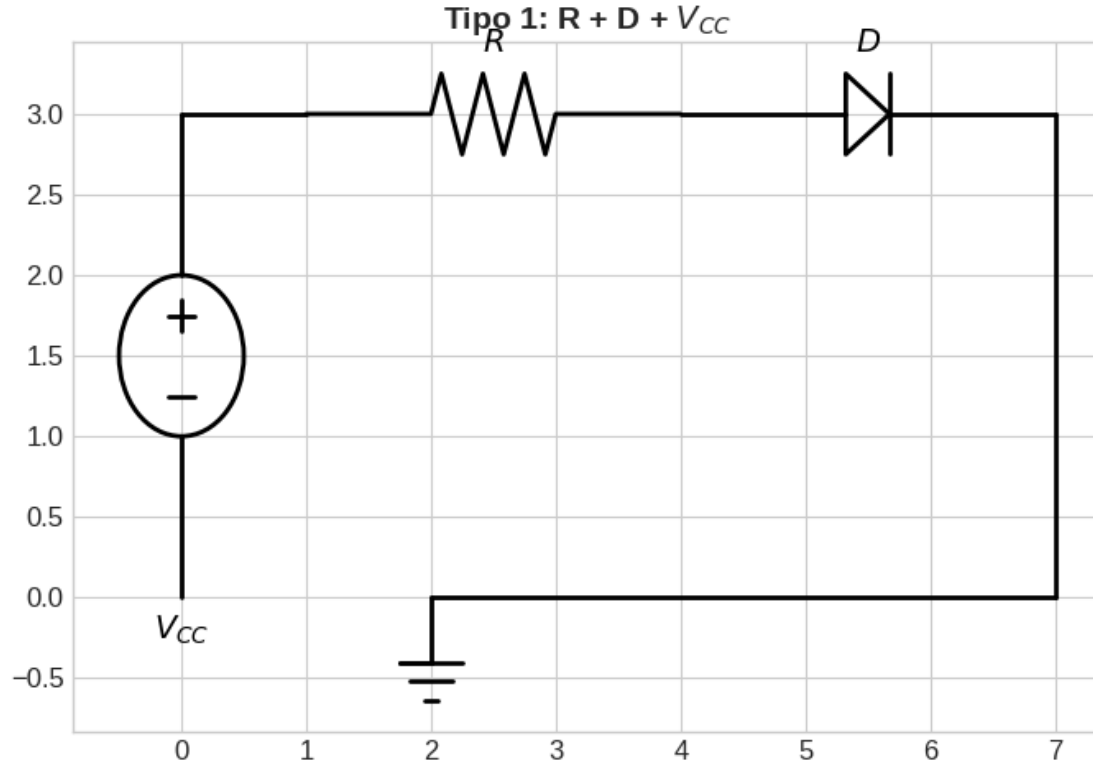
Paso 1-2: Suponer conducción ($V_D = V_F = 0.7$ V)

Paso 3: KVL:

$$I_D = \frac{V_{CC} - V_F}{R} = \frac{12 - 0.7}{2.2\text{k}\Omega} = \frac{11.3}{2200} = 5.14 \text{ mA}$$

Paso 4: $I_D = 5.14 \text{ mA} > 0 \rightarrow$ **Conducción confirmada.**

Resultado: $V_D = 0.7 \text{ V}$, $I_D = 5.14 \text{ mA}$



3.7.3 12.2 Tipo 2: Dos diodos - determinar cuál conduce

Cuando hay dos diodos con sus ánodos conectados a tensiones diferentes, solo conduce el que tiene **mayor tensión en el ánodo** (o el que tiene su ánodo más positivo respecto al cátodo común).

Metodología: 1. Suponer que ambos conducen 2. Resolver el circuito 3. Verificar que ambas corrientes son positivas 4. Si una corriente sale negativa $\rightarrow$ ese diodo está en corte

Clave: El diodo que conduce fija la tensión del nodo común.

Ejercicio resuelto: Tipo 2 Datos: $V_1 = 10 \text{ V}$, $V_2 = 5 \text{ V}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, dos diodos ideales ($V_F = 0$). D_1 conecta V_1 al nodo A (a través de R_1), D_2 conecta V_2 al nodo A (a través de R_2). R_L conecta A a masa.

Intento 1: Ambos conducen ($V_{D1} = 0$, $V_{D2} = 0$)

Si ambos conducen, la tensión en A sería la misma vista desde ambas ramas. Pero $V_1 \neq V_2$, así que habrá conflicto.

Por KCL en el nodo A:

$$\frac{V_1 - V_A}{R_1} + \frac{V_2 - V_A}{R_2} = \frac{V_A}{R_L}$$

$$\frac{10 - V_A}{1\text{k}} + \frac{5 - V_A}{1\text{k}} = \frac{V_A}{2\text{k}}$$

$$10 - V_A + 5 - V_A = \frac{V_A}{2} \Rightarrow 15 = 2.5 \cdot V_A \Rightarrow V_A = 6 \text{ V}$$

$$I_{D2} = \frac{V_2 - V_A}{R_2} = \frac{5 - 6}{1\text{k}} = -1 \text{ mA} < 0$$

$I_{D2} < 0 \rightarrow D_2$ **NO conduce** (hipótesis incorrecta).

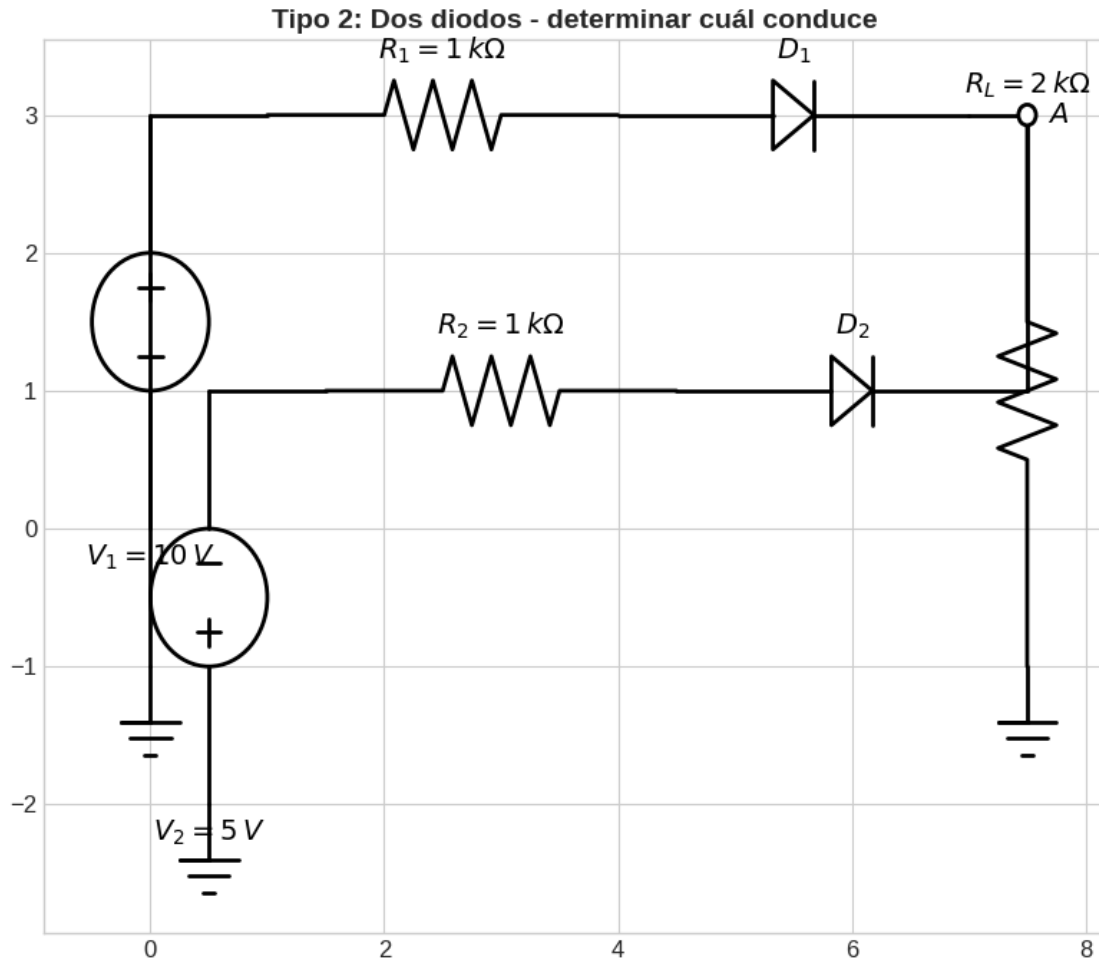
Intento 2: Solo D_1 conduce, D_2 en corte

$$V_A = V_1 \cdot \frac{R_L}{R_1 + R_L} = 10 \cdot \frac{2\text{k}}{1\text{k} + 2\text{k}} = 6.67 \text{ V}$$

$$I_{D1} = \frac{V_1 - V_A}{R_1} = \frac{10 - 6.67}{1\text{k}} = 3.33 \text{ mA} > 0 \rightarrow \checkmark$$

$$V_{D2} = V_2 - V_A = 5 - 6.67 = -1.67 \text{ V} < 0 \rightarrow \checkmark \text{ (inversa)}$$

Resultado: Solo D_1 conduce. $V_A = 6.67 \text{ V}$, $I_{D1} = 3.33 \text{ mA}$.



3.7.4 12.3 Tipo 3: Diodo con modelo $V_F > 0$

Igual que el Tipo 1 pero usando el modelo más común: en conducción $V_D = V_F$ (típ. 0.7 V Si, 0.3 V Ge).

$$I_D = \frac{V_{CC} - V_F}{R}$$

Error frecuente: Usar $V_F = 0.7$ V para germanio. Para Ge se usa $V_F \approx 0.3$ V.

Ejercicio resuelto: Tipo 3 Datos: $V_{CC} = 5$ V, $R = 470$ Ω , diodo Ge ($V_F = 0.3$ V)

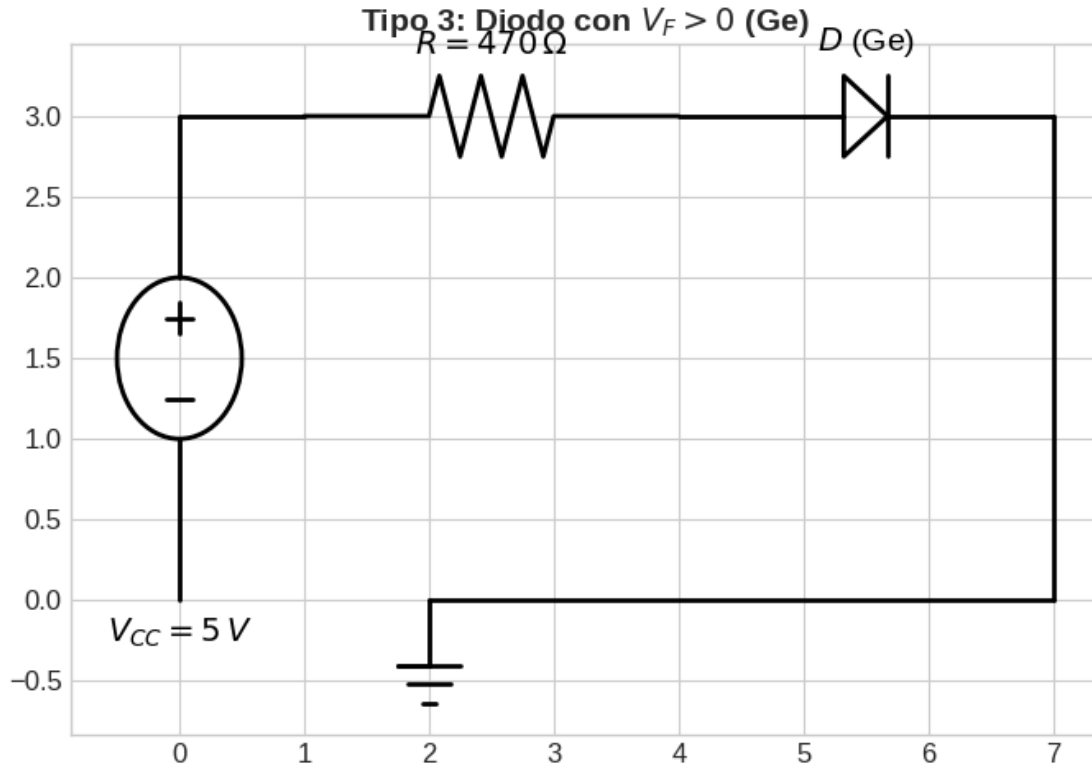
Paso 1-2: Suponer conducción ($V_D = 0.3$ V)

Paso 3:

$$I_D = \frac{V_{CC} - V_F}{R} = \frac{5 - 0.3}{470} = \frac{4.7}{470} = 10.0 \text{ mA}$$

Paso 4: $I_D = 10.0 \text{ mA} > 0 \rightarrow$ **Conducción confirmada.**

Resultado: $V_D = 0.3 \text{ V}$, $I_D = 10.0 \text{ mA}$



3.7.5 12.4 Tipo 4: Diodo ideal ($V_F = 0$)

El modelo más simple: en conducción, el diodo es un **cortocircuito**.

$$\boxed{I_D = \frac{V_{CC}}{R}} \quad V_D = 0$$

Ventaja: Cálculos más rápidos. **Desventaja:** Menos precisión (error de V_F).

Ejercicio resuelto: Tipo 4 Datos: $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $R = 470 \Omega$, diodo ideal

Paso 1-2: Suponer conducción ($V_D = 0$)

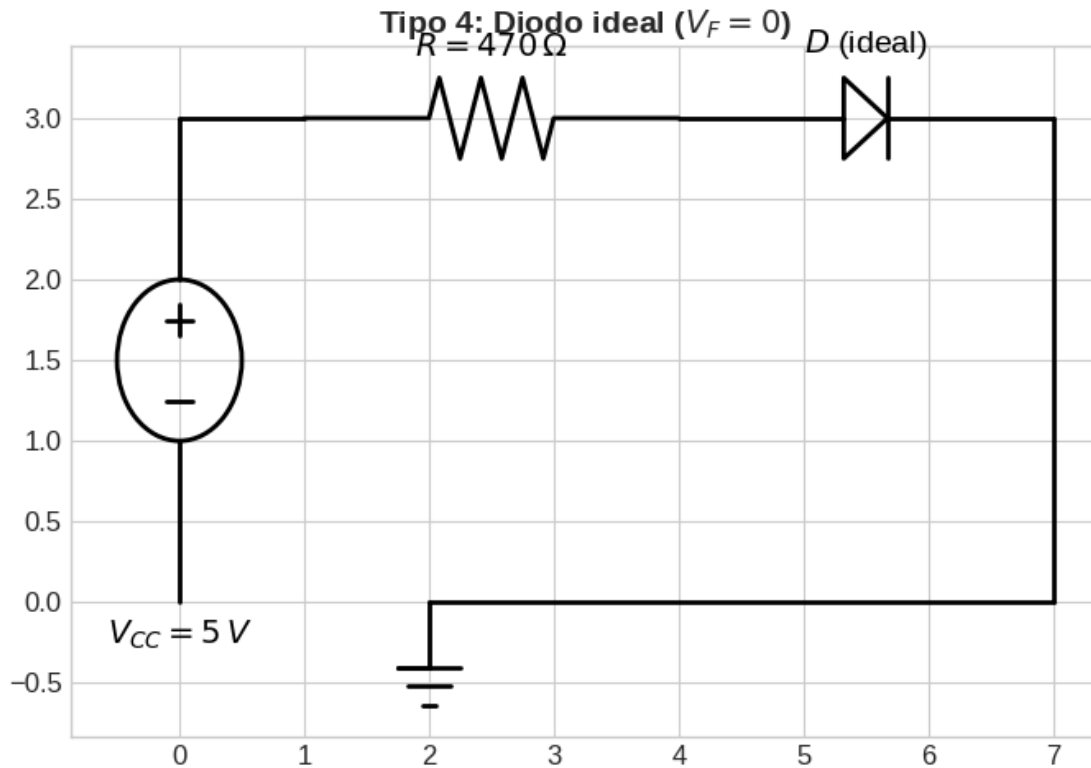
Paso 3:

$$I_D = \frac{V_{CC}}{R} = \frac{5}{470} = 10.64 \text{ mA}$$

Paso 4: $I_D = 10.64 \text{ mA} > 0 \rightarrow$ **Conducción confirmada.**

Resultado: $V_D = 0 \text{ V}$, $I_D = 10.64 \text{ mA}$

Comparación con modelo $V_F = 0.7 \text{ V}$: La diferencia es $10.64 - 10.0 = 0.64 \text{ mA}$ ($\approx 6\%$).



3.7.6 12.5 Tipo 5: Diodo con V_F y resistencia serie R_S

Modelo más preciso: incluye la resistencia dinámica del diodo en conducción.

$$I_D = \frac{V_{CC} - V_F}{R + R_S} \quad V_D = V_F + I_D \cdot R_S$$

Cómo afecta R_S : - Si R_S **aumenta** $\rightarrow I_D$ disminuye, V_D aumenta - Típicamente $R_S = 5 - 20 \Omega$ para diodos de señal

Ejercicio resuelto: Tipo 5 Datos: $V_{CC} = 5\text{ V}$, $R = 470\ \Omega$, $V_F = 0.7\text{ V}$, $R_S = 10\ \Omega$

Paso 1-2: Suponer conducción ($V_D = V_F + I_D \cdot R_S$)

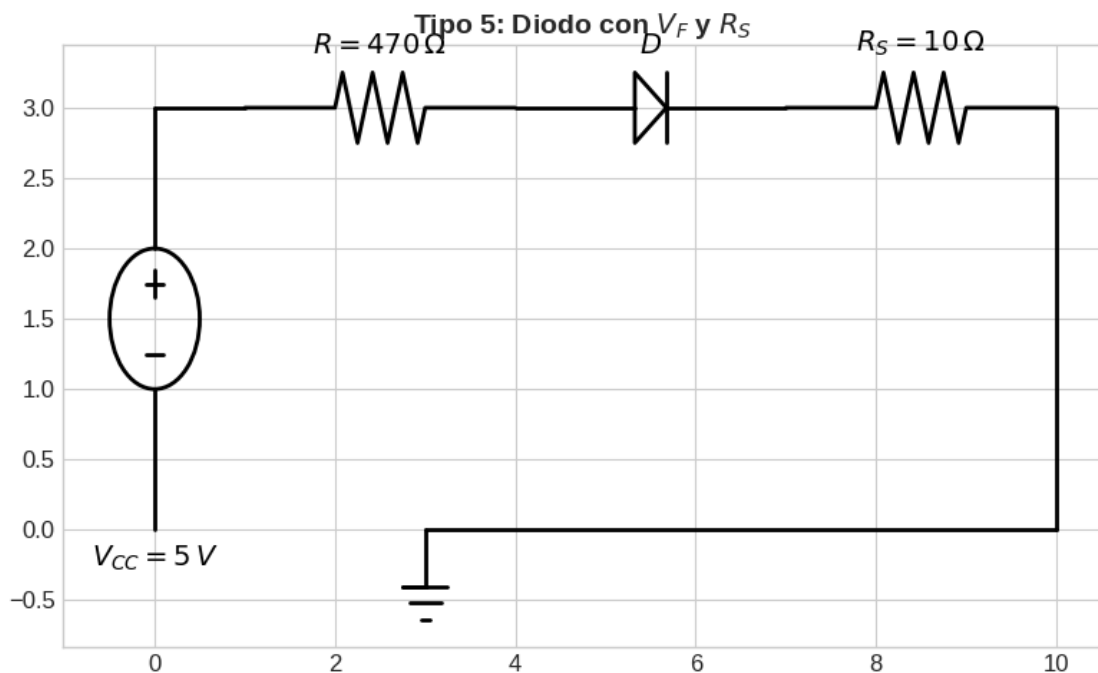
Paso 3: KVL: $V_{CC} = R \cdot I_D + V_F + R_S \cdot I_D$

$$I_D = \frac{V_{CC} - V_F}{R + R_S} = \frac{5 - 0.7}{470 + 10} = \frac{4.3}{480} = 8.96\text{ mA}$$

$$V_D = V_F + I_D \cdot R_S = 0.7 + 8.96\text{mA} \times 10 = 0.7 + 0.09 = 0.79\text{ V}$$

Paso 4: $I_D = 8.96\text{ mA} > 0 \rightarrow$ **Conducción confirmada.**

Resultado: $V_D = 0.79\text{ V}$, $I_D = 8.96\text{ mA}$



3.7.7 12.6 Tipo 6: Rectificador de media onda

$$V_{DC} = \frac{V_p}{\pi} \quad V_{ef} = \frac{V_p}{2} \quad V_{pp} = V_p \quad f_r = \pi \approx 314\%$$

Con diodo real: sustituir V_p por $V_p - V_F$.

Cómo afectan los parámetros: - Si V_p **aumenta** $\rightarrow V_{DC}$ aumenta proporcionalmente - Si V_F **aumenta** $\rightarrow V_{DC}$ disminuye (más pérdida en el diodo)

Ejercicio resuelto: Tipo 6 Datos: $v_s(t) = 20 \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t)$ V, diodo Si ($V_F = 0.7$ V)

Paso 1: Identificar $V_p = 20$ V

Paso 2 (ideal):

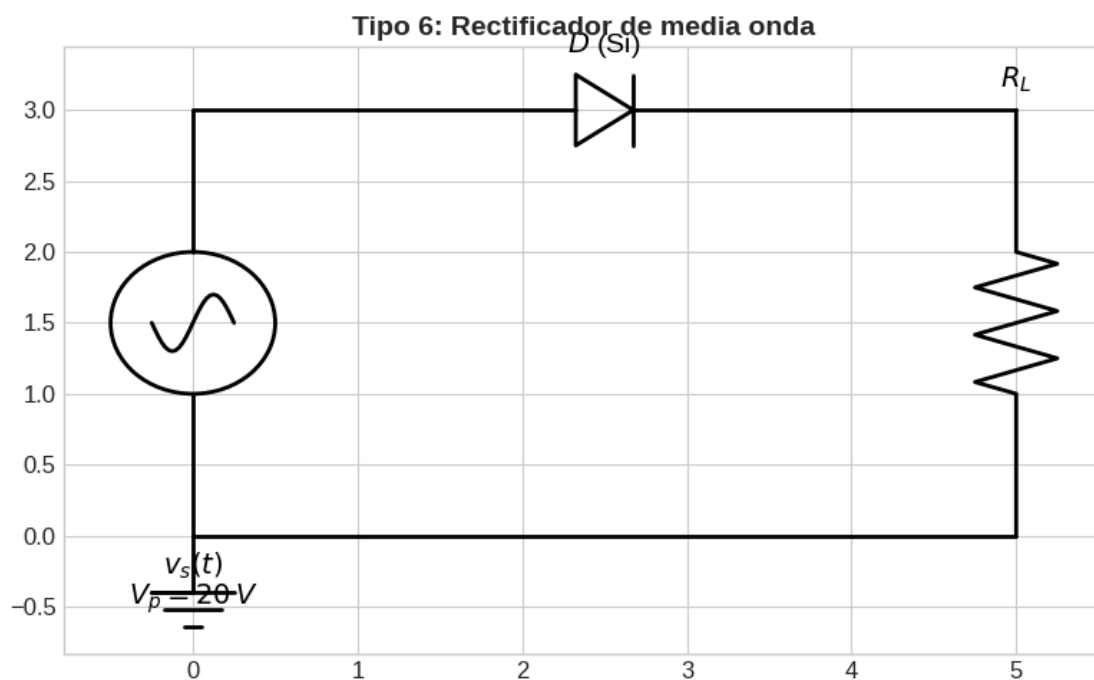
$$V_{DC} = \frac{V_p}{\pi} = \frac{20}{\pi} = 6.37 \text{ V}$$

$$V_{ef} = \frac{V_p}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ V}$$

$$V_{pp} = V_p = 20 \text{ V} \quad f_r = 314\%$$

Paso 3 (real):

$$V_{DC} = \frac{V_p - V_F}{\pi} = \frac{20 - 0.7}{\pi} = \frac{19.3}{\pi} = 6.14 \text{ V}$$



3.7.8 12.7 Tipo 7: Rectificador de onda completa

$$\boxed{V_{DC} = \frac{2V_p}{\pi}} \quad V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad V_{pp} = V_p \quad f_r = \frac{\pi}{2} \approx 157\%$$

Con diodo real: sustituir V_p por $V_p - 2V_F$ (dos diodos en serie).

Ventaja sobre media onda: El doble de V_{DC} , menor rizado.

Ejercicio resuelto: Tipo 7 Datos: $V_p = 15$ V, puente de diodos Si ($V_F = 0.7$ V)

Ideal:

$$V_{DC} = \frac{2 \times 15}{\pi} = 9.55 \text{ V}$$

$$V_{ef} = \frac{15}{\sqrt{2}} = 10.61 \text{ V}$$

Real:

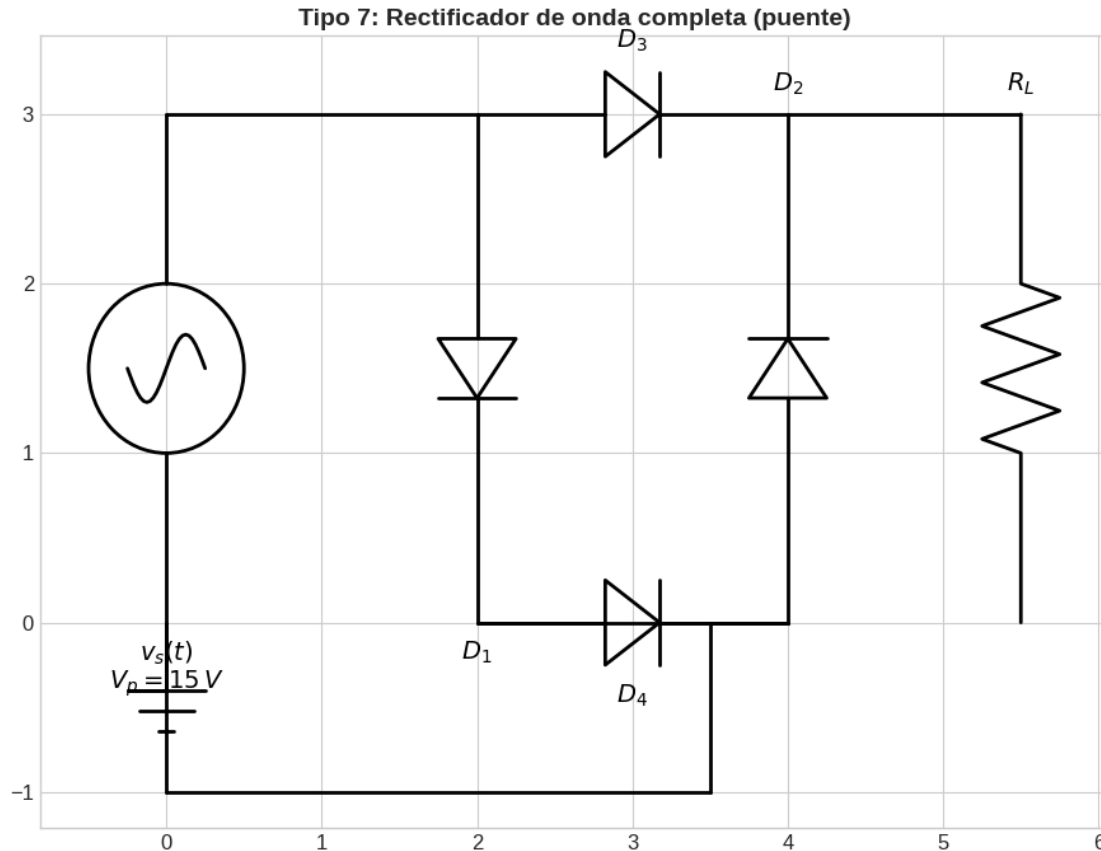
$$V_{DC} = \frac{2(15 - 2 \times 0.7)}{\pi} = \frac{2 \times 13.6}{\pi} = \frac{27.2}{\pi} = 8.66 \text{ V}$$

```
/home/danielmf31/Documentos/Documentos_Trabajo/Ingenieria/Programacion/VSCode/Proyectos_personales/Ciencia_Datos/.venv/lib/python3.12/site-packages/schemdraw/elements/elements.py:863: UserWarning: Duplicated direction parameter in element. `down` changed to `right`.
```

```
    warnings.warn(f"Duplicated direction parameter in element. `{self._userparams['d']}` changed to `right`.")
```

```
/home/danielmf31/Documentos/Documentos_Trabajo/Ingenieria/Programacion/VSCode/Proyectos_personales/Ciencia_Datos/.venv/lib/python3.12/site-packages/schemdraw/elements/elements.py:863: UserWarning: Duplicated direction parameter in element. `up` changed to `right`.
```

```
    warnings.warn(f"Duplicated direction parameter in element. `{self._userparams['d']}` changed to `right`.")
```



3.7.9 12.8 Tipo 8: Rectificador con condensador - estimar rizado

$$V_{pp} \approx \frac{V_p}{f \cdot R \cdot C} \quad V_{DC} \approx V_p - \frac{V_{pp}}{2}$$

(Para media onda. Para onda completa: sustituir f por $2f$.)

Cómo afectan los parámetros: - Si C **aumenta** $\rightarrow V_{pp}$ disminuye $\rightarrow$ mejor filtrado - Si R **aumenta** $\rightarrow V_{pp}$ disminuye (menos corriente = descarga más lenta) - Si f **aumenta** $\rightarrow V_{pp}$ disminuye (menos tiempo de descarga)

Truco para el examen: Si piden “rizado menor del $X\%$ ”, despejar C de $V_{pp}/V_{DC} < X/100$.

Ejercicio resuelto: Tipo 8 Datos: Rectificador media onda, $V_p = 20$ V, $f = 50$ Hz, $R = 1$ k Ω , $C = 470$ μ F, diodo ideal

Paso 1: Rizado pico a pico

$$V_{pp} = \frac{V_p}{f \cdot R \cdot C} = \frac{20}{50 \times 1000 \times 470 \times 10^{-6}} = \frac{20}{23.5} = 0.85 \text{ V}$$

Paso 2: Valor medio

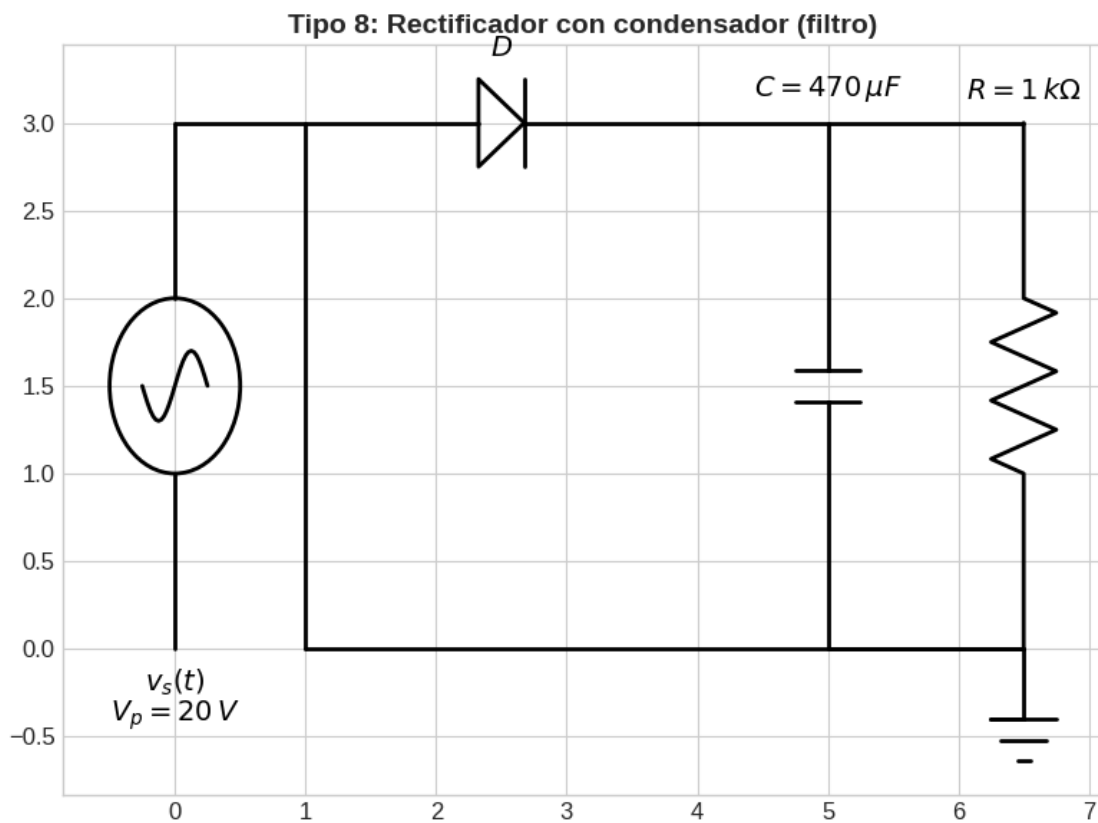
$$V_{DC} = V_p - \frac{V_{pp}}{2} = 20 - \frac{0.85}{2} = 20 - 0.43 = 19.57 \text{ V}$$

Paso 3: Factor de rizado

$$f_r = \frac{V_{pp}}{V_{DC}} \times 100 = \frac{0.85}{19.57} \times 100 = 4.3\%$$

Resultado: $V_{pp} = 0.85 \text{ V}$, $V_{DC} = 19.57 \text{ V}$, $f_r = 4.3\%$

Comparación: Sin condensador $V_{DC} = 20/\pi = 6.37 \text{ V}$, $f_r = 314\%$. El filtro multiplica por 3 el valor DC.



3.7.10 12.9 Tipo 9: Regulador Zener - encontrar rango de regulación

$$V_{CC,min} = R_S \left(\frac{V_Z}{R_L} + I_{ZK} \right) + V_Z \quad V_{CC,max} = R_S \left(\frac{V_Z}{R_L} + I_{ZM} \right) + V_Z$$

Condición de regulación: $I_{ZK} \leq I_D \leq I_{ZM}$

Cómo afectan los parámetros: - Si R_S **aumenta** → rango más amplio pero más pérdidas - Si R_L **disminuye** → más corriente por la carga → rango se estrecha - Si $I_{ZM} - I_{ZK}$ **grande** → mayor rango de regulación

Ejercicio resuelto: Tipo 9 Datos: $R_S = 220\ \Omega$, $R_L = 2.2\ \text{k}\Omega$, $V_Z = 6.8\ \text{V}$, $I_{ZK} = 0.5\ \text{mA}$, $I_{ZM} = 40\ \text{mA}$

Paso 1: Corriente por la carga

$$I_{R_L} = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{6.8}{2200} = 3.09\ \text{mA}$$

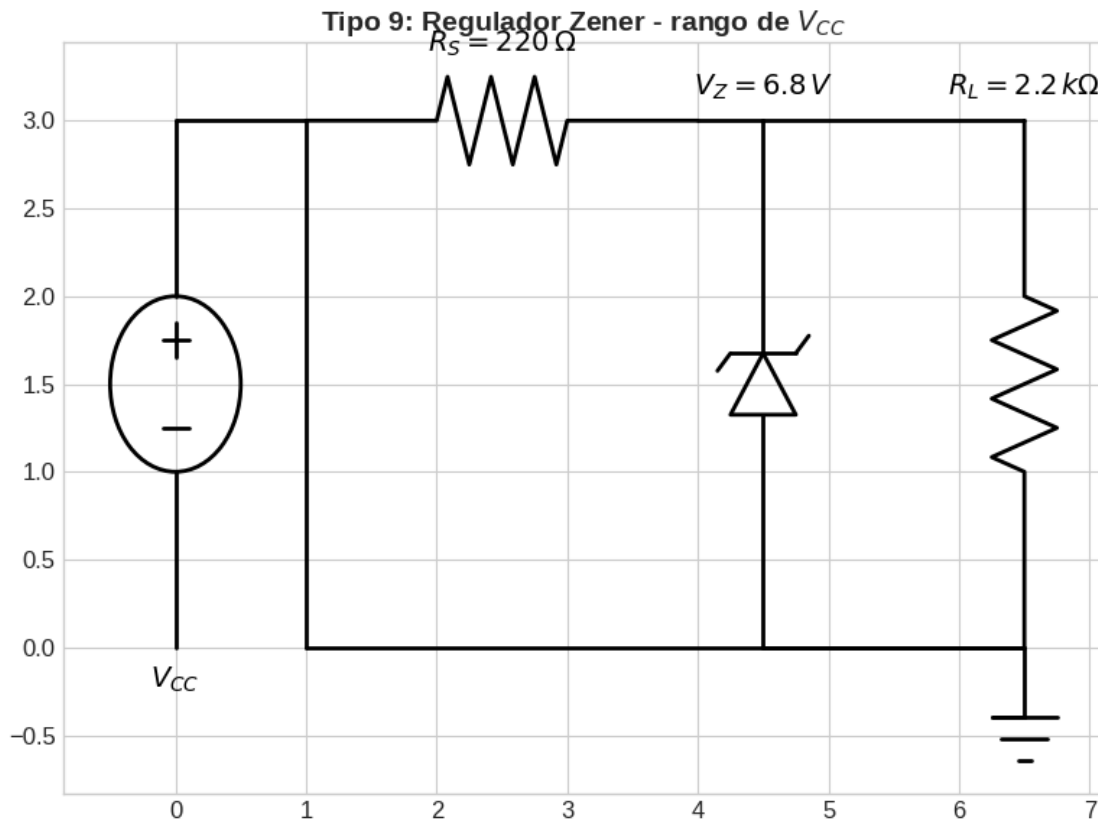
Paso 2: V_{CC} mínimo (con $I_D = I_{ZK}$)

$$V_{CC,min} = 220 \times (3.09\text{m} + 0.5\text{m}) + 6.8 = 220 \times 3.59 \times 10^{-3} + 6.8 = 0.79 + 6.8 = 7.59\ \text{V}$$

Paso 3: V_{CC} máximo (con $I_D = I_{ZM}$)

$$V_{CC,max} = 220 \times (3.09\text{m} + 40\text{m}) + 6.8 = 220 \times 43.09 \times 10^{-3} + 6.8 = 9.48 + 6.8 = 16.28\ \text{V}$$

Resultado: Regulación para $7.59\ \text{V} \leq V_{CC} \leq 16.28\ \text{V}$



3.7.11 12.10 Tipo 10: Regulador Zener - encontrar I_D dado V_{CC}

$$I_D = \frac{V_{CC} - V_Z}{R_S} - \frac{V_Z}{R_L}$$

Verificar: $I_{ZK} \leq I_D \leq I_{ZM}$. Si no se cumple, el Zener no regula.

Ejercicio resuelto: Tipo 10 Datos: $V_{CC} = 12 \text{ V}$, $R_S = 330 \text{ } \Omega$, $R_L = 1 \text{ k}\Omega$, $V_Z = 5.1 \text{ V}$, $I_{ZK} = 1 \text{ mA}$, $I_{ZM} = 25 \text{ mA}$

Paso 1: Suponer Zener en ruptura ($V_D = -V_Z = -5.1 \text{ V}$)

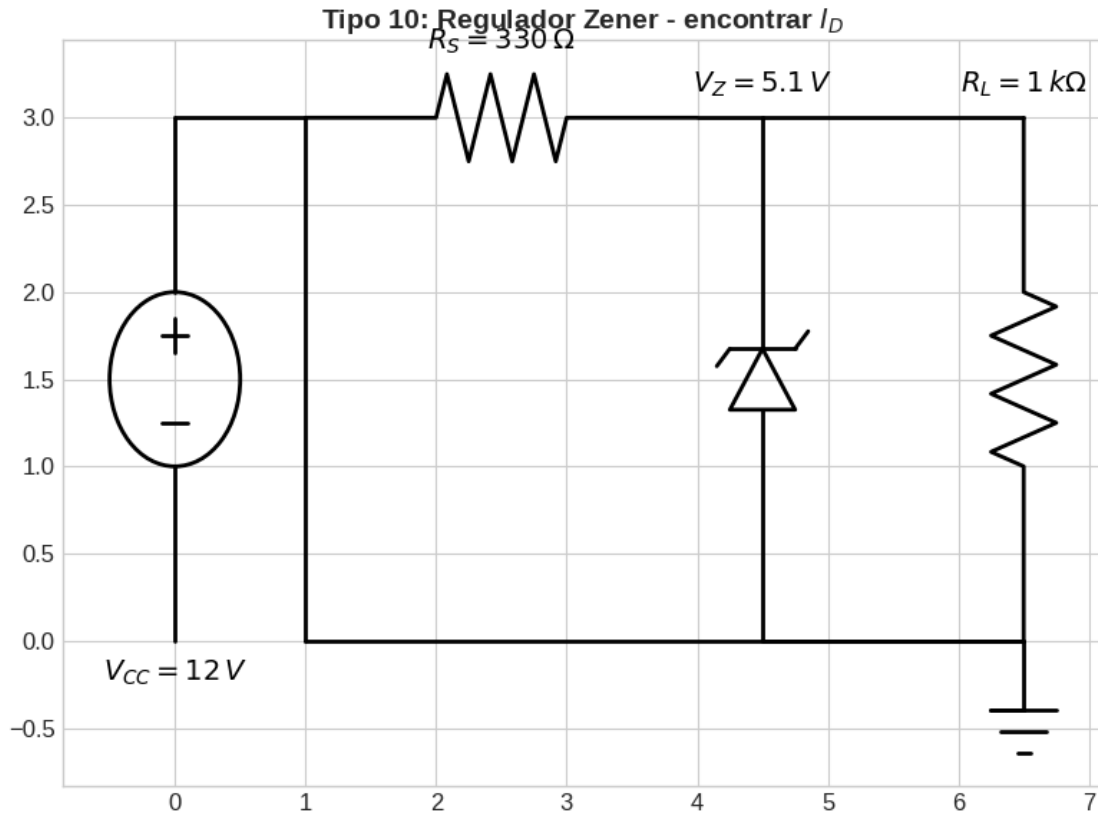
$$I_{R_S} = \frac{V_{CC} - V_Z}{R_S} = \frac{12 - 5.1}{330} = \frac{6.9}{330} = 20.91 \text{ mA}$$

$$I_{R_L} = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{5.1}{1000} = 5.10 \text{ mA}$$

$$I_D = I_{R_S} - I_{R_L} = 20.91 - 5.10 = 15.81 \text{ mA}$$

Verificación: $1 \text{ mA} < 15.81 \text{ mA} < 25 \text{ mA} \rightarrow$ **Zener en regulación confirmado.**

Resultado: $V_{R_L} = V_Z = 5.1 \text{ V}$, $I_D = 15.81 \text{ mA}$



3.7.12 12.11 Tipo 11: Circuito LED - calcular R para corriente deseada

$$R = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_F}$$

donde V_{LED} depende del color y I_F es la corriente deseada (típico 10-20 mA).

Cómo afectan los parámetros: - Si V_{CC} **aumenta** $\rightarrow$ necesitamos R mayor para la misma I_F
 - Si V_{LED} **mayor** (azul vs rojo) $\rightarrow R$ menor para la misma I_F

Ejercicio resuelto: Tipo 11 Datos: $V_{CC} = 5\text{ V}$, LED rojo ($V_{LED} = 1.8\text{ V}$), $I_F = 15\text{ mA}$ deseada

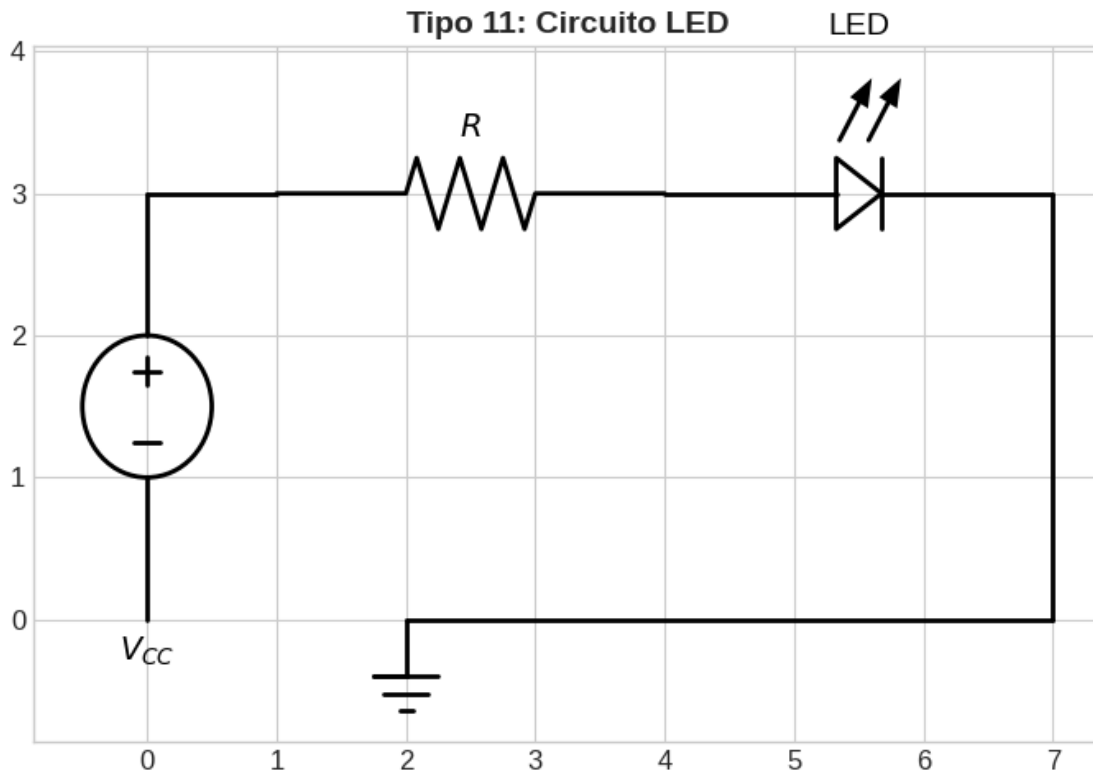
Cálculo:

$$R = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_F} = \frac{5 - 1.8}{15 \times 10^{-3}} = \frac{3.2}{0.015} = 213\ \Omega$$

Valor comercial más cercano: $R = 220\ \Omega$

Verificación con $R = 220\ \Omega$:

$$I_F = \frac{5 - 1.8}{220} = 14.5 \text{ mA} \approx 15 \text{ mA} \rightarrow \checkmark$$



3.7.13 12.12 Tipo 12: Diodo en inversa (determinar corte)

Cuando la polaridad de la fuente o la orientación del diodo hacen que $V_D < 0$, el diodo está en **corte**.

$I_D = 0 \quad V_D = -(\text{tensión que aparece en bornes del diodo abierto})$

Clave: Al estar en corte, el diodo es un circuito abierto. La tensión que “ve” el diodo es la que habría en sus terminales si no estuviera.

Ejercicio resuelto: Tipo 12 Datos: $V_{CC} = 10 \text{ V}$, $R = 1 \text{ k}\Omega$, diodo con cátodo conectado a V_{CC} y ánodo a masa (a través de R)

Análisis: El ánodo está a potencial más bajo que el cátodo.

Paso 1: Suponer conducción ($V_D = 0.7 \text{ V}$)

La corriente debería fluir de ánodo a cátodo, pero la fuente fuerza el sentido contrario.

$$I_D = \frac{0 - V_{CC} + V_F}{R} = \frac{0 - 10 + 0.7}{1000} = -9.3 \text{ mA} < 0$$

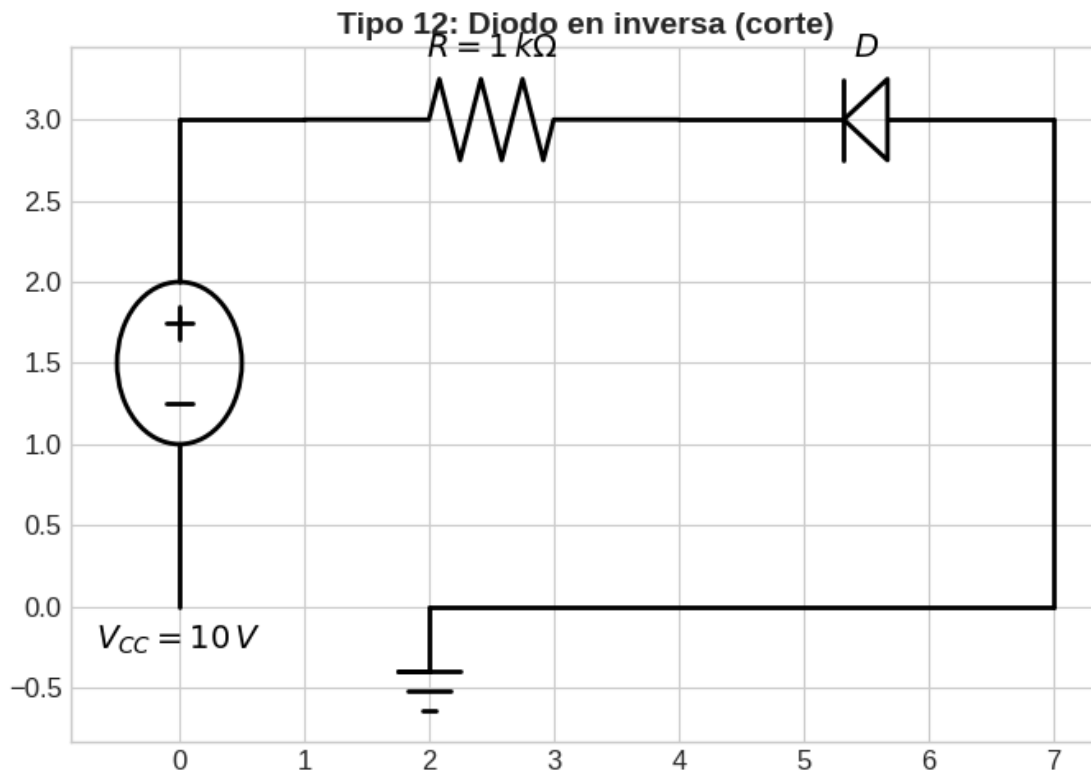
$I_D < 0 \rightarrow$ hipótesis incorrecta.

Paso 2: Suponer corte ($I_D = 0$)

No circula corriente. $V_D = 0 - V_{CC} = -10 \text{ V}$

Verificación: $V_D = -10 \text{ V} < V_F = 0.7 \text{ V} \rightarrow$ Corte confirmado.

Resultado: $I_D = 0$, $V_D = -10 \text{ V}$, toda la tensión cae en el diodo.



Ejercicio resuelto: Tipo 13 - Regulador Zener con fuente variable (gráfica V_{out} vs V_{CC})

Este tipo de ejercicio pide analizar cómo varía la tensión en la carga V_{out} cuando la fuente V_{CC} cambia. Es clave para entender la **regulación** del Zener.

Datos: $R_S = 220 \Omega$, $R_L = 1 \text{ k}\Omega$, $V_Z = 5.1 \text{ V}$, $I_{ZK} = 1 \text{ mA}$ (mínima), $I_{ZM} = 50 \text{ mA}$ (máxima). V_{CC} varía de 0 a 20 V.

Análisis por zonas:

Zona 1: $V_{CC} < V_Z$ (Zener NO conduce)

El Zener está en corte. El circuito es simplemente $R_S + R_L$ en serie:

$$V_{out} = V_{CC} \cdot \frac{R_L}{R_S + R_L} = V_{CC} \cdot \frac{1000}{1220} = 0.820 \cdot V_{CC}$$

La salida crece linealmente con la entrada.

Zona 2: $V_{CC} \geq V_Z$ (Zener conduce, regulación)

El Zener fija $V_{out} = V_Z = 5.1$ V (constante). La corriente por R_S es:

$$I_{RS} = \frac{V_{CC} - V_Z}{R_S} = \frac{V_{CC} - 5.1}{220}$$

La corriente por la carga es fija: $I_{RL} = V_Z / R_L = 5.1 / 1000 = 5.1$ mA

La corriente por el Zener: $I_Z = I_{RS} - I_{RL}$

El Zener empieza a conducir cuando $I_Z \geq I_{ZK}$, es decir:

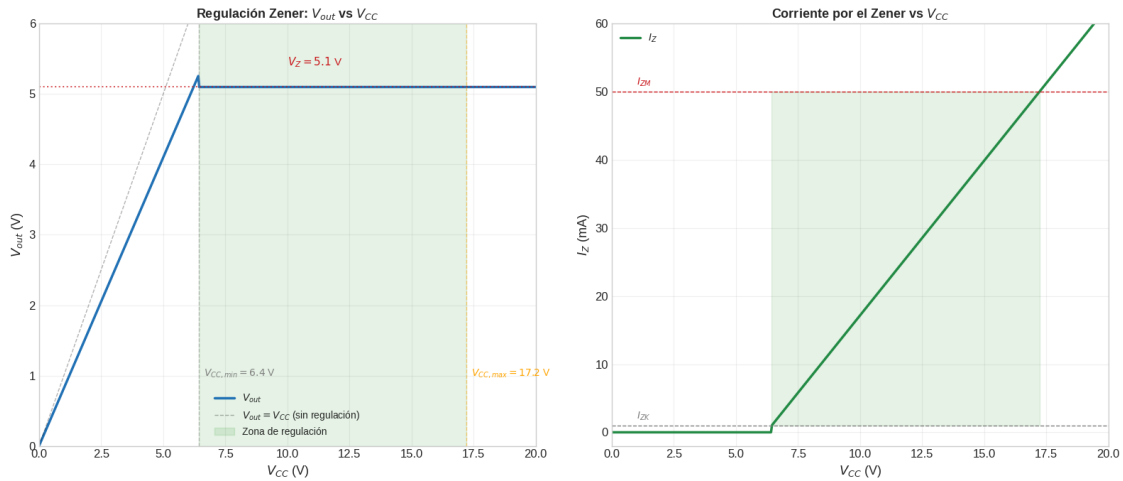
$$V_{CC,min} = R_S \cdot (I_{RL} + I_{ZK}) + V_Z = 220 \times 0.0061 + 5.1 = 6.44 \text{ V}$$

El Zener alcanza su límite cuando $I_Z = I_{ZM}$:

$$V_{CC,max} = R_S \cdot (I_{RL} + I_{ZM}) + V_Z = 220 \times 0.0561 + 5.1 = 17.44 \text{ V}$$

Zona 3: $V_{CC} > V_{CC,max}$ (Zener en peligro)

$I_Z > I_{ZM}$: el Zener puede destruirse. V_{out} sigue siendo $\approx V_Z$ pero con riesgo.

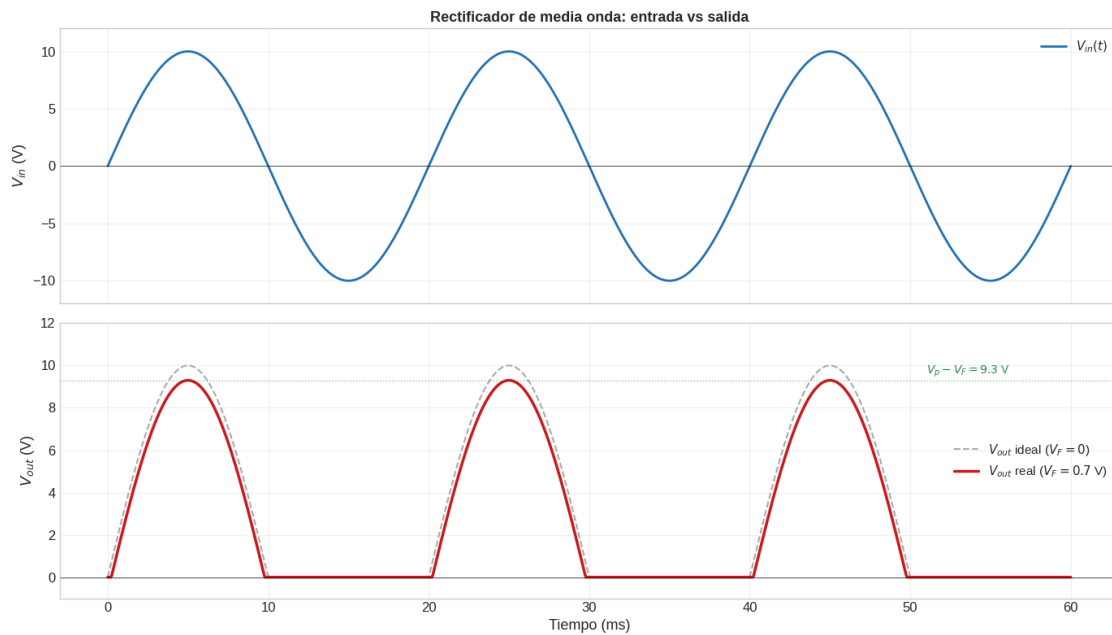


Ejercicio resuelto: Tipo 14 - Rectificador media onda: V_{in} vs V_{out} **Datos:** Fuente sinusoidal $V_{in}(t) = 10 \sin(2\pi \cdot 50t)$ V, diodo con $V_F = 0.7$ V, $R_L = 1$ k Ω .

Análisis:

- Semiciclo positivo ($V_{in} > V_F$): el diodo conduce. $V_{out} = V_{in} - V_F$
- Semiciclo negativo ($V_{in} < V_F$): el diodo no conduce. $V_{out} = 0$

La gráfica muestra cómo solo pasa la mitad positiva de la señal, recortada por la caída V_F .

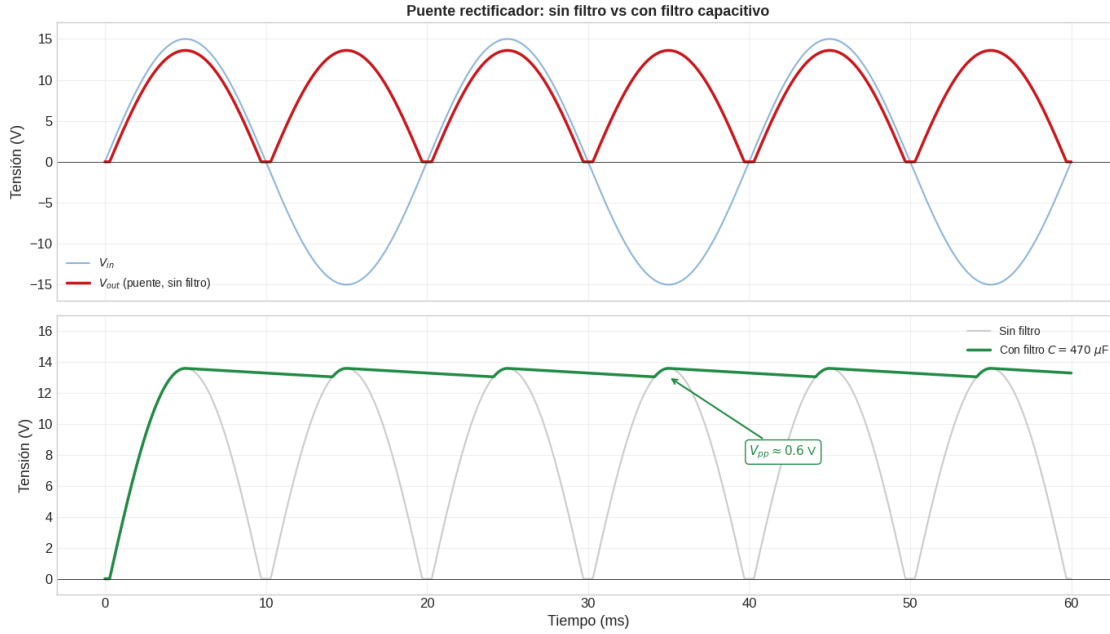


Ejercicio resuelto: Tipo 15 - Puente rectificador onda completa: V_{in} vs V_{out} **Datos:** Fuente sinusoidal $V_{in}(t) = 15 \sin(2\pi \cdot 50t)$ V, puente de 4 diodos con $V_F = 0.7$ V cada uno, $R_L = 470$ Ω .

Análisis:

- Semiciclo positivo: conducen D_1 y D_2 . $V_{out} = V_{in} - 2V_F$ (caída de 2 diodos en serie)
- Semiciclo negativo: conducen D_3 y D_4 . $V_{out} = |V_{in}| - 2V_F$

La salida es siempre positiva: **rectificación completa**. La frecuencia de V_{out} es el **doble** de la de V_{in} .



3.7.14 Tabla resumen de fórmulas por tipo

Tipo	Fórmula principal	Qué se busca
1-4. Simple	$I_D = \frac{V_{CC} - V_F}{R}$	Corriente y tensión del diodo
5. Con R_S	$I_D = \frac{V_{CC} - V_F}{R + R_S}$	Más precisión
6. Media onda	$V_{DC} = \frac{V_p}{\pi}$	Parámetros de la salida DC
7. Onda completa	$V_{DC} = \frac{2V_p}{\pi}$	Parámetros de la salida DC
8. Con filtro	$V_{pp} = \frac{V_p}{fRC}$	Rizado y valor medio
9. Zener rango	$V_{CC, min/max}$	Límites de regulación
10. Zener I_D	$I_D = \frac{V_{CC} - V_Z}{R_S} - \frac{V_Z}{R_L}$	Corriente por el Zener
11. LED	$R = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_F}$	Resistencia limitadora
12. Inversa	$I_D = 0$	Verificar corte

3.8 13. Resumen y tabla de fórmulas clave

Fórmula	Uso
$n \cdot p = n_i^2$	Relación fundamental en semiconductores
$I_D = I_o(e^{V_D/\varphi_T} - 1)$	Ecuación de Shockley
$\varphi_T = kT/q \approx 0.025 \text{ V}$	Potencial térmico a 300 K
$V_D = V_F \approx 0.7 \text{ V (Si)}$	Modelo linealizado en conducción
$I_D = (V_{CC} - V_F)/R$	Circuito básico R + D
$I_D = (V_{CC} - V_F)/(R + R_S)$	Modelo con resistencia serie
$V_{DC} = V_p/\pi$	Rectificador media onda (ideal)
$V_{DC} = 2V_p/\pi$	Rectificador onda completa (ideal)
$V_{pp} = V_p/(fRC)$	Rizado con filtro (media onda)
$V_{pp} = V_p/(2fRC)$	Rizado con filtro (onda completa)
$V_{DC} = V_p - V_{pp}/2$	Valor medio con filtro
$I_D = (V_{CC} - V_Z)/R_S - V_Z/R_L$	Corriente por el Zener
$V_{CC,min} = R_S(V_Z/R_L + I_{ZK}) + V_Z$	Límite inferior de regulación
$V_{CC,max} = R_S(V_Z/R_L + I_{ZM}) + V_Z$	Límite superior de regulación
$R = (V_{CC} - V_{LED})/I_F$	Resistencia para LED