

# Circuitos usando Diodos

April 29, 2014

## 1 Curvas Características

Con un circuito simple se puede utilizar el circuito que se muestra acontinuación:

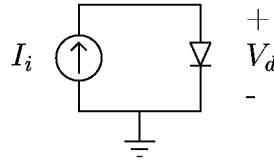
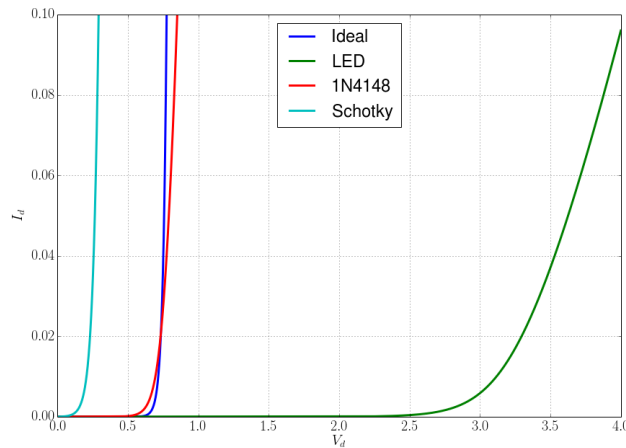


Figure 1: Circuito Básico

dado que la fuente de corriente puede tener cualquier valor de voltaje (teoricamente), si controlamos la corriente  $I_D$  entonces obtendremos una variación en el voltaje del diodo  $V_D$ , la cual debe de ser similar al expresado por la expresión:

$$I_D = I_s \left( e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right) \quad (1)$$

Utilizando el program LTspice para obtener el comportamiento de diferentes diodos se obtiene la siguiente gráfica. (Los archivos son: [diodos\\_curvas.asc](#) el archivo de LTspice y el de [curvasdiodos.txt](#) contiene los datos que se usan en el ejemplo.



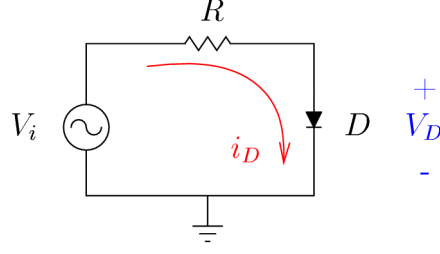


Figure 2: Circuito con un diodo

## 2 Circuito Rectificador de media onda

El circuito más simple con un diodo es el conocido como rectificador de media onda el cual consiste de una fuente de voltaje  $V_i$ , un resistencia  $R$  y un diodo  $D$  en serie, como se muestra en la siguiente figura

Utilizando la ley de Kircchof de voltajes y la ley de Ohm se tiene

$$V_i = I_D R + V_D \quad (2)$$

dado que los elementos estan en serie se tiene que corriente es la misma, por lo tanto es posible encontrar la corriente total con la expresión para la corriente del diodo

$$I_D = I_s \left( e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right) \quad (3)$$

sustituyendo (3) en (2)

$$V_i = I_s \left( e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right) R + V_D \quad (4)$$

La expresión (4) es una ecuación trascendente (Una ecuación trascendente es una igualdad entre dos expresiones matemáticas en las que aparecen una o más incógnitas relacionadas mediante operaciones matemáticas, que no son únicamente algebraicas, y cuya solución no puede obtenerse empleando solo las herramientas propias del álgebra.) lo cual no permite encontrar una solución analítica.

Para resolver una ecuación trascendente se utilizan dos métodos que son: por estimación y gráfico.

### 2.1 Estimación

Considerese una expresión del tipo

$$y = f(x, p) \quad (5)$$

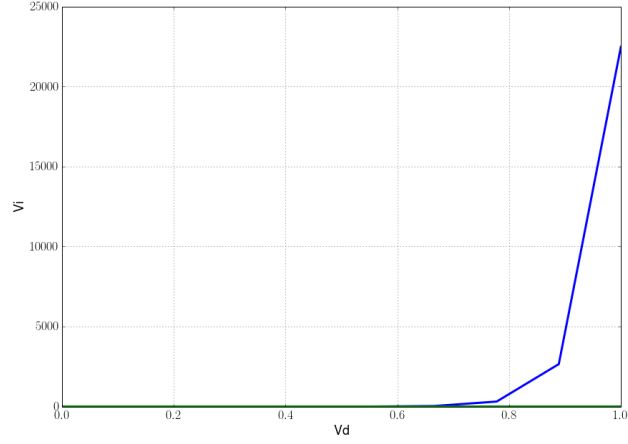
donde  $y$  es una salida conocida (Variable dependiente),  $x$  es una entrada (Variable independiente) y  $p$  son un conjunto de parámetros. Si  $f(x, p)$  es una ecuación que no tiene solución analítica, entonces no se puede calcular su solución exacta. Sin embargo, es posible estimar una solución aproximada  $\hat{y}$  con el método de estimación. En este método se asignan valores a la incognita hasta que el error ( $E_y$ ) entre la solución exacta  $y$  y la solución estimada  $\hat{y}$  es menor a un cierto valor establecido. Esto se puede expresar como:

$$E_y = |y - \hat{y}| \leq k$$

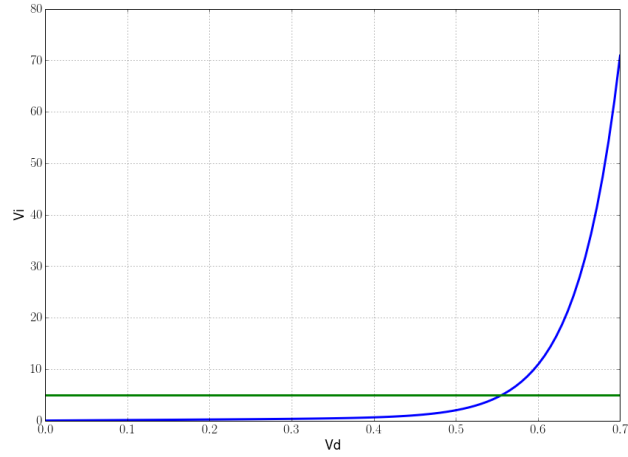
Por lo que este metodo requiere que los coeficientes de la expresión a evaluar sea conocidos.

#### 2.1.1 Ejemplo 1

en el caso de la expresión (4) consideramos que  $R = 2k\Omega$ ,  $V_i = 5$ ,  $n = 2$ , y  $V_T = 26mV$ . En la siguiente gráfica se muestra el valor estimado de la expresión (4) al sustituir valores de los parámetros y considerar  $0 \leq V_D \leq 1$



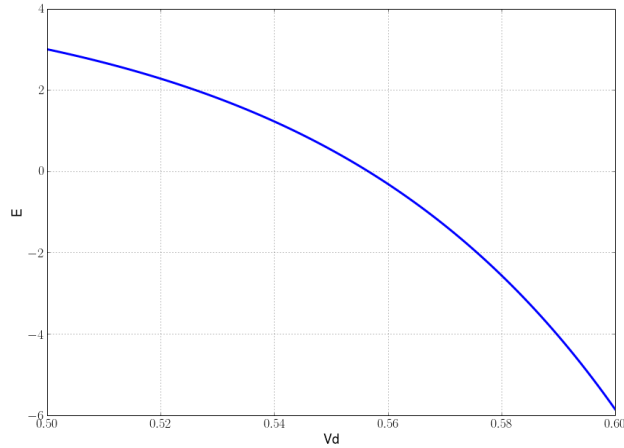
De la gráfica anterior se observa que para valores de  $V_D$  mayores a 0.8, la salida estimada es mucho mayor que la salida esperada, por lo que haciendo una nueva iteración  $0 \leq V_D \leq 0.7$ , se obtiene la siguiente gráfica



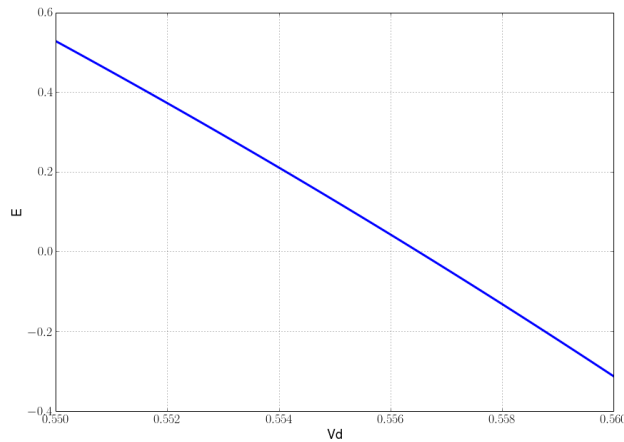
De los resultados mostrados en la gráfica anterior se puede concluir que el valor estimado se aproxima al valor deseado cuando  $0.5 \leq V_D \leq 0.6$ , para realizar una mejor aproximación se utiliza el error de estimación

$$E = V_i - \hat{V}_i \quad (6)$$

donde  $\hat{V}_i$  es el valor estimado a través de la expresión (4)



De la gráfica anterior se observa que el error  $E$  es igual a 0 cuando  $0.55 \leq V_D \leq 0.56$ , por lo que haciendo una nueva aproximación es posible encontrar un valor exacto. El siguiente paso es proponer que el intervalo  $0.55 \leq V_D \leq 0.56$ .



Se observa que el error  $E = 0$  se encuentra en el intervalo  $0.556 \leq V_D \leq 0.557$ , para encontrar un error con una buena precisión se tiene que realizar este proceso más iteraciones, en este caso con ayuda de los **métodos numéricos** se cuenta con algoritmos que hacen posible el cálculo de estos valores de forma automática.

Usando uno de estos métodos (método de bisección) se encuentra que el valor de  $V_D$  que produce un  $E < 10^{-4}$  se tiene que:

El valor estimado de  $V_d$  que soluciona el problema es: 0.5564939428778598

el valor de la corriente del diodo utilizando (1) es  $I_d = 0.0022217530285451636 \approx 2.22 \text{ mA}$   
0.0022217530285451636

### 3 Analisis de DC

En el caso de un circuito con diodos el sistema se puede analizar en dos partes, cuando el diodo está polarizado en directa y cuando está polarizado en inversa.

### 3.1 Polarización directa

En el caso ideal se tiene que un circuito con un diodo que esta polarizado en directa el diodo se puede considerar como un interruptor cerrado, tal como se muestra en la siguiente circuito

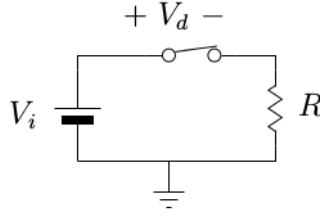


Figure 3: Circuito con un diodo polarizado en directa

donde  $V_d = 0$  y por lo tanto la corriente se obtiene con la expresión

$$I_d = \frac{V_i}{R} \quad (7)$$

Sin embargo, la expresión anterior es incorrecta si consideramos que la corriente dada en el diodo es determinada por la expresión (1). En general del ejemplo anterior se observa que es difícil calcular el valor de la corriente con las ecuaciones exactas, por lo que se simplifica el problema que una vez establecida la corriente de DC, el voltaje del diodo  $V_d = V_k$  donde  $V_k \geq 0$ , siendo el valor de  $V_k$  determinado de forma heurística en función del tipo de diodo, por lo que una función aproximada para calcular la corriente sería:

$$I_d = \frac{V_i - V_k}{R} \quad (8)$$

Si consideramos la expresión (8) en el ejemplo 1, considerando que  $V_k = 0.7$  se tiene

$$I_d = \frac{V_i - V_k}{R} = \frac{(5 - 0.7)V}{2k\Omega} = 2.15mA$$

lo cual solo tiene un error de  $0.08mA$  con respecto al cálculo utilizando la expresión (1)

### 3.2 Polarización inversa

En el caso de la polarización inversa se tiene que el diodo se puede sustituir con un interruptor abierto como se muestra en la figura que sigue:

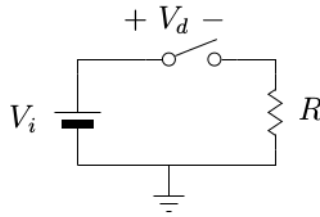


Figure 4: Circuito con un diodo polarizado en inversa

en el caso del circuito anterior se tiene que el voltaje en la resistencia  $V_R = 0$ , ya que no fluye corriente alguna, por lo que se tiene que  $V_d = V_i$ . Lo anterior será válido mientras no se alcance el voltaje de conducción en inversa (Voltaje de avalancha  $V_a$  o Voltaje Zenner  $V_z$ ), ya que al alcanzar el voltaje de conducción en inversa el diodo se comporta de forma similar cuando esta polarizado en directa. Solo que ahora el voltaje utilizado para la expresión (8) no es  $V_k$  sino el voltaje de avalancha  $V_A$

$$I_d = \frac{V_i - V_A}{R} \quad (9)$$

## 4 Circuito Rectificador de Onda Completa

El circuito rectificador de onda completa se muestra en la siguiente figura.

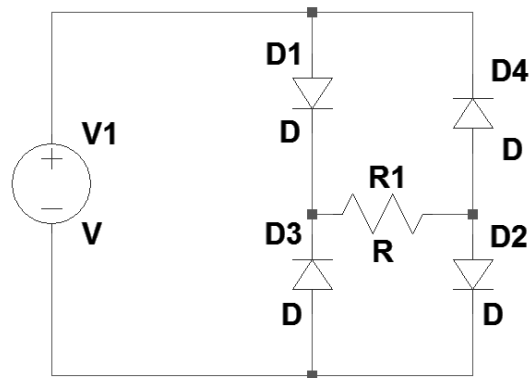


Figure 5: Rectificador de Onda Completa

### 4.1 Ciclo positivo

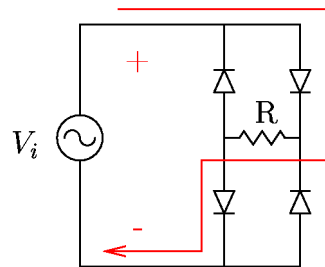


Figure 6: Rectificador de Onda Completa Ciclo Positivo

### 4.2 Ciclo negativo

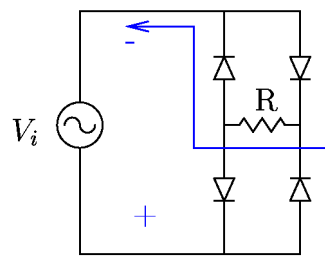
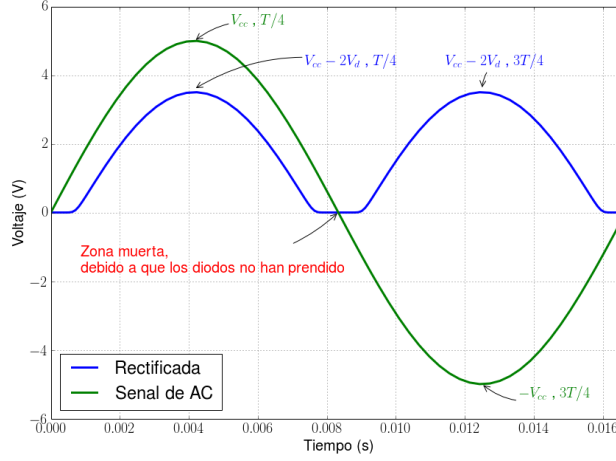


Figure 7: Rectificador de Onda Completa Ciclo Negativo



## 5 Fuente de voltaje de CD con diodos

### 5.1 Transformador

Se denomina transformador a un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal (esto es, sin pérdidas), es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño y tamaño, entre otros factores.

El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética. Está constituido por dos o más bobinas de material conductor, devanadas sobre un núcleo cerrado de material ferromagnético, pero aisladas entre sí eléctricamente. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo. El núcleo, generalmente, es fabricado bien sea de hierro o de láminas apiladas de acero eléctrico, aleación apropiada para optimizar el flujo magnético. Las bobinas o devanados se denominan primario y secundario según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente. También existen transformadores con más devanados; en este caso, puede existir un devanado “terciario”, de menor tensión que el secundario.

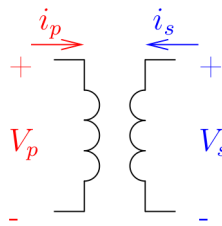


Figure 8: Transformador

En un transformador ideal, en el que el acoplamiento magnético es perfecto se tiene que la energía de la bobina primaria es reflejada totalmente en la bobina secundaria, por lo que se tiene:

$$V_p i_p = V_s i_s \quad (10)$$

de la expresión (10) se puede relacionar el voltaje de las bobinas con el número de vueltas de las mismas bobinas, a través de la expresión

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{i_s}{i_o} = \sqrt{\frac{L_p}{L_s}} = m \quad (11)$$

en la expresión anteriores se tiene que la relación del primario y del secundario de un transformador, se puede expresar por el numero de vueltas de las bobinas  $N_x$  o la inductancia de cada uno de los transformadores  $L_x$ . Si conocemos el valor de la  $L_p$  entonces de (11) se tiene

$$L_s = \frac{L_p}{m^2} \quad (12)$$

## 5.2 Fuente de Voltaje de CD

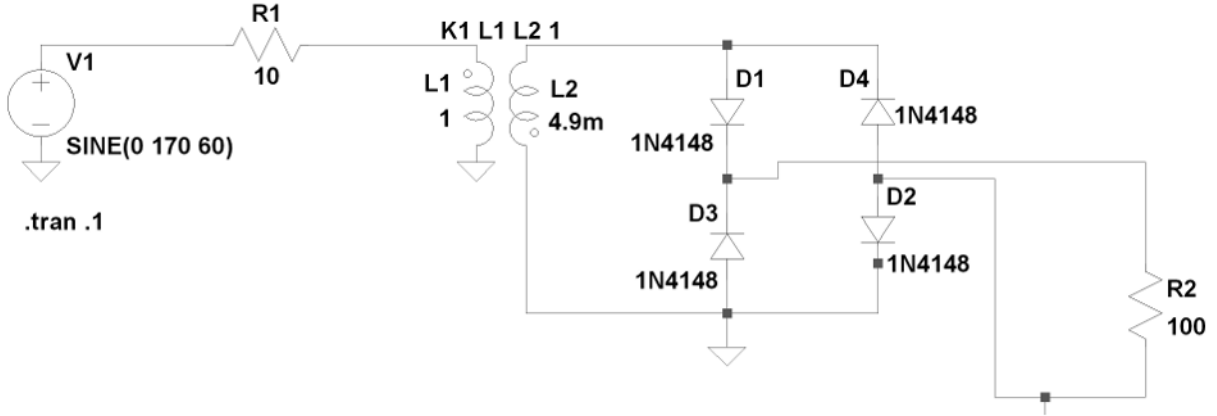
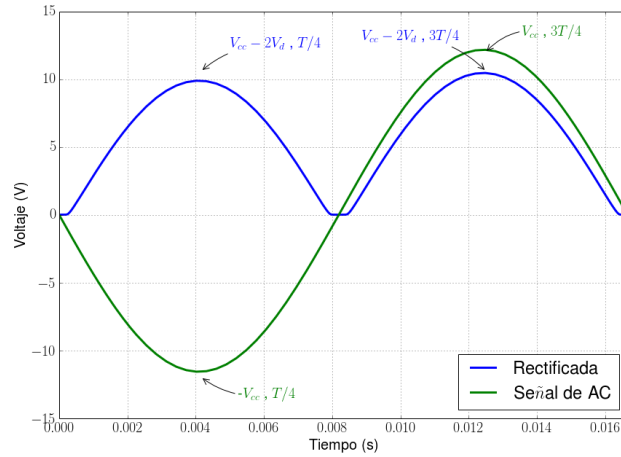


Figure 9: Fuente de DC simple

El circuito de la figura anterior solamente rectificara una señal de AC con voltaje  $V_p$  a la entrada del primario del transformador a  $V_s - 2 * V_d$  y una frecuencia de  $2f_p$ , donde  $V_s$  es el voltaje en el secundario del transformador,  $V_d$  es el voltaje de disparo del diodo y  $f_p$  es la frecuencia de la señal en el primario del transformador. Que es el comportamiento de un puente de diodos.





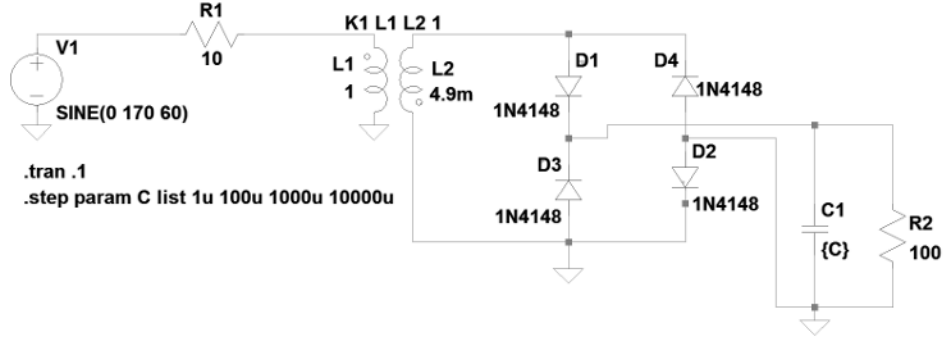


Figure 10: Fuente de DC simple

Para lograr una señal de DC, se agrega un capacitor  $C$  en paralelo a la Resistencia  $R_2$ , tal como se muestra en la siguiente figura

El comportamiento de este circuito se muestra en la siguiente figura:

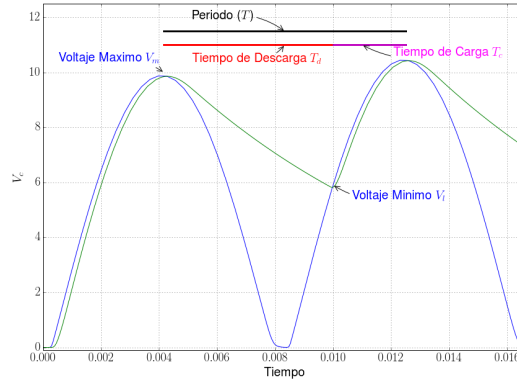


Figure 11: Salida Filtro

El comportamiento mostrado en la figura anteriores se puede considerar el voltaje de salida (grafica verde)  $V_c$  tiene un componente de DC (offset) más un componente de AC llamado voltaje de rizo.

Se tiene que el voltaje máximo del capacitor  $V_m$  es:

$$V_m = V_s - 2V_d \quad (13)$$

el voltaje mínimo  $V_l$  es determinado por la expresión:

$$V_l = V_m e^{-\frac{T_d}{RC}} \quad (14)$$

a partir de las expresiones (13) y (14) se define el voltaje de rizo como:

$$V_r = V_m - V_l = V_m - V_m e^{-\frac{T_d}{RC}} = V_m (1 - e^{-\frac{T_d}{RC}}) \quad (15)$$

la expresión (15) es una ecuación trasendente por lo que no tiene solución analítica, por lo que para obtener una solución aproximada se utiliza la expansión en series de Taylor de la siguiente manera:

$$e^{\frac{-T_d}{RC}} \approx 1 - \frac{T_d}{RC} \quad (16)$$

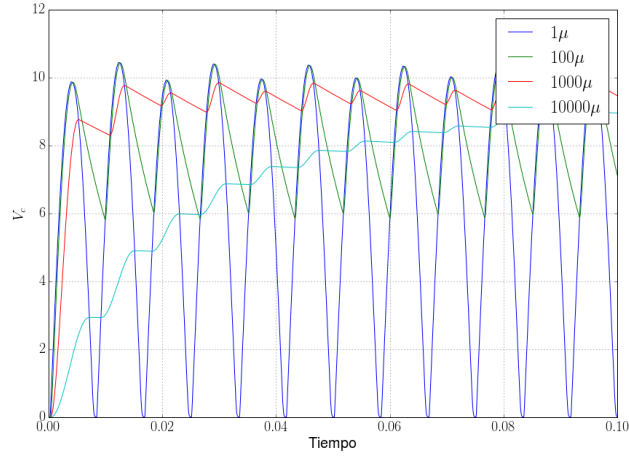
sustituyendo (16) en (15) se tiene

$$V_r \approx V_m \frac{T_d}{RC} \quad (17)$$

Se tiene que el tiempo de descarga del capacitor  $T_d \leq T$ , por lo que se considera que

$$V_r \leq V_m \frac{T}{RC} \quad (18)$$

Se encontraron 4 pasos en la simulacion  
[ 902. 916. 969. 1067.]



## 6 Circuito Modulador de AM

Uno de los primeros circuitos usados en la electrónica fueron los relacionados con las comunicaciones, siendo la [modulación en amplitud](#) una de las primeras tecnicas utilizadas. Uno de los circuitos teoricos más faciles de usar es el que se muestra acontinuación.

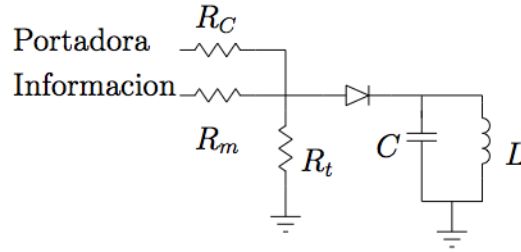


Figure 12: Modulador AM con un diodo