

Universidad Central de Venezuela  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Eléctrica

# **Prelaboratorio N° 10: Osciladores**

Emerson Warhman  
C.I. 25.795.480  
25 de marzo de 2025

# Índice

<b>1. Objetivos</b>	<b>2</b>
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>2</b>
2.1. Osciladores . . . . .	2
2.2. Oscilador de puente de Wien . . . . .	3
2.3. Controles de amplitud . . . . .	4
<b>3. Metodología</b>	<b>5</b>
3.0.1. Trabajo de preparación . . . . .	5
3.0.2. Simulaciones . . . . .	7

# 1. Objetivos

## Objetivo General

- Comprender los principios físicos que permiten el establecimiento de una oscilación sinusoidal.

## Objetivos Específicos

- Reconocer las ventajas del uso del concepto de amplificador operacional en el diseño e implementación de sistemas analógicos.
- Reconocer la necesidad del uso de un control de amplitud como mecanismo para sostenimiento de la oscilación senoidal.

# 2. Marco Teórico

## 2.1. Osciladores

Existen distintos sistemas capaces de generar señales por sí solas, tales como: triangulares, cuadráticas, sinusoidales, etc. Las dos categorías principales de generadores de señales son los osciladores sinusoidales y los osciladores de relajación [?]. El primero emplea un lazo de realimentación positiva compuesto por una red RC o RL, utilizando el fenómeno de resonancia. También se conoce como oscilador lineal. El segundo caso, se conoce como oscilador no lineal y emplean bloques conocidos como multivibradores [?].

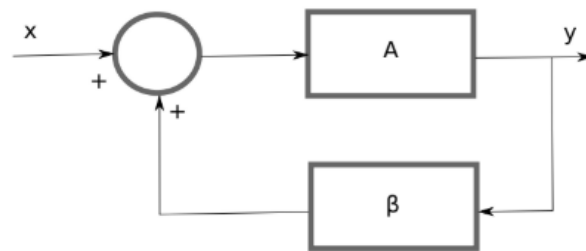


Ilustración 1: Circuito realimentado.

Para el sistema de la ilustración 1, se tiene que la salida está dada por:

$$y = A(x + y\beta) \quad (1)$$

Donde:

- $y$  es la salida del sistema
- $x$  es la entrada del sistema
- $A$  es la ganancia del amplificador
- $\beta$  es el factor de realimentación

Por lo tanto, la ganancia del sistema realimentado está dada por:

$$A_{fb} = \frac{y}{x} = \frac{A}{1 - A\beta} \quad (2)$$

Cuando el resultado en el denominador es cero, entonces el sistema se encuentra en el límite de la estabilidad. Recordemos que un sistema con realimentación negativa es estable y el sistema con realimentación positiva es inestable [?].

Para que un sistema oscile, debe cumplirse la condición de Barkhausen [?]:

$$A(j\omega_o)\beta(j\omega_o) = 1 \quad (3)$$

Esta condición establece que para que exista oscilación, la ganancia de lazo debe ser unitaria a la frecuencia de oscilación  $\omega_o$ . Esto significa que:

- La magnitud del producto  $A\beta$  debe ser igual a 1

- El ángulo de fase del producto  $A\beta$  debe ser  $0^\circ$  o un múltiplo entero de  $360^\circ$

Por lo tanto,

$$A(s)\beta(s) = 1 + 0j \quad (4)$$

donde

$$\beta A = \frac{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_0}{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_0} \quad (5)$$

Sustituyendo  $s = j\omega$ , se puede deducir que los términos pares serían números reales y los términos impares serían imaginarios. Al agruparlos se puede simplificar en la siguiente ecuación.

$$\beta A = \frac{N_p(s) + jN_i(s)}{D_p(s) + jD_i(s)} \quad (6)$$

Donde  $N_p(s)$  y  $D_p(s)$  son los términos pares del numerador y denominador respectivamente, y  $N_i(s)$  y  $D_i(s)$  son los términos impares del numerador y denominador respectivamente.

Multiplicando numerador y denominador por el conjugado del denominador:

$$\beta A = \frac{N_p(s) + jN_i(s)}{D_p(s) + jD_i(s)} \cdot \frac{D_p(s) - jD_i(s)}{D_p(s) - jD_i(s)} \quad (7)$$

$$\beta A = \frac{N_p(s)D_p(s) + N_i(s)D_i(s) + j(N_i(s)D_p(s) - N_p(s)D_i(s))}{D_p(s)^2 - D_i(s)^2} \quad (8)$$

de manera que igualando con la ecuación 4 se tiene que:

$$\begin{cases} \frac{N_p(s)D_p(s) + N_i(s)D_i(s)}{D_p(s)^2 - D_i(s)^2} = 1 \\ \frac{N_i(s)D_p(s) - N_p(s)D_i(s)}{D_p(s)^2 - D_i(s)^2} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

resolviendo el sistema de ecuaciones 9 se tiene que:

$$\begin{cases} N_i = D_i \\ N_p = D_p \end{cases} \quad (10)$$

## 2.2. Oscilador de puente de Wien

Este circuito es uno de los osciladores más usados, por su sencillez y estabilidad [?]. Está realimentado negativamente por un circuito resistivo y positivamente por dos redes RC, en serie y paralelo.

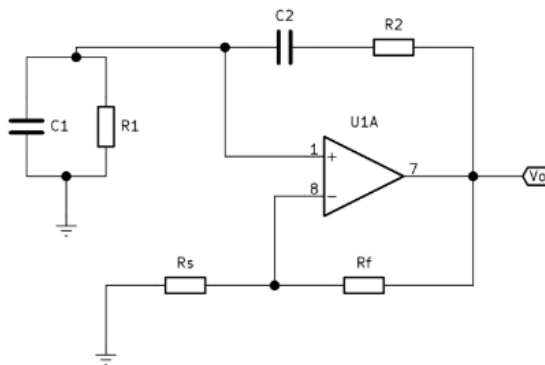


Ilustración 2: Oscilador de puente de Wien.

Simplificando el circuito, tomando la ganancia del amplificador no inversor, resulta el circuito de la ilustración 3 con

$$K = 1 + \frac{R_f}{R_s} \quad (11)$$

Ahora, utilizando el método del amplificador desvanecido para resolver el sistema,

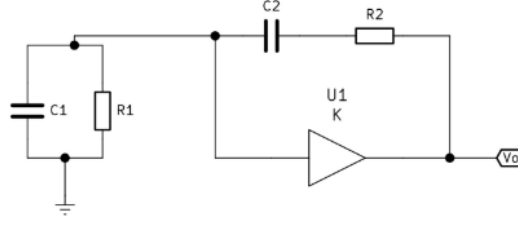


Ilustración 3: Oscilador de puente de Wien simplificado.

$$x_{31} = \frac{Z_p}{Z_p + Z_s} \quad (12)$$

Donde,  $Z_p = 1/sC_1 \parallel R_1$  y  $Z_s = R_2 + sC_2$ .

Por lo tanto, sustituyendo estos términos y simplificando la ecuación, se tiene:

$$\beta A = A \frac{R_1 C_2}{R_1 R_2 C_1 C_2} \frac{s}{s^2 + s \frac{R_2 C_2 + R_1 C_1 + R_1 C_2}{R_1 R_2 C_1 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (13)$$

Identificando los términos:

$$N_p(s) = 0 \quad (14)$$

$$N_i(s) = A \frac{R_1 C_2}{R_1 R_2 C_1 C_2} s \quad (15)$$

$$D_p(s) = s^2 + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \quad (16)$$

$$D_i(s) = s \left( \frac{R_2 C_2 + R_1 C_1 + R_1 C_2}{R_1 R_2 C_1 C_2} \right) \quad (17)$$

Partiendo de la igualdad  $N_p = D_p$

$$s^2 + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} = 0 \quad (18)$$

Se obtiene la frecuencia de oscilación del circuito,

$$\omega_o = \pm \sqrt{\frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}} \quad (19)$$

Y de la igualdad  $N_i = D_i$ , se obtiene la ganancia del circuito

$$A = \frac{R_2 \cdot C_2 + R_1 \cdot C_1 + R_1 \cdot C_2}{R_1 \cdot C_2} \quad (20)$$

En la vida real, las variaciones de temperatura de los componentes dificulta mantener la estabilidad del puente de Wien [?]. Una manera de disminuir este efecto consiste en utilizar valores de resistencias iguales y de la misma tecnología, lo cual disminuye el efecto de oscilación debido a la temperatura.

Si  $R_1 = R_2 = R$  y  $C_1 = C_2 = C$ , entonces la ganancia del circuito y su frecuencia de corte se vuelven:

$$A = 3 \quad (21)$$

$$\omega_o = \frac{1}{RC} \quad (22)$$

### 2.3. Controles de amplitud

Para un oscilador, no es posible garantizar que mantenga las características de oscilación durante toda su vida útil [?]. Para lograr esto, es necesario garantizar que la oscilación tenga un factor de amortiguamiento no nulo,  $Ae^{\alpha t} \sin(\omega t)$ , de manera que pueda crecer y decrecer en amplitud.

Se desea entonces que en el arranque, ese factor  $\alpha$  sea mayor que cero, y que crezca en magnitud hasta lograr niveles utilizables. Cuando esta señal sea grande, entonces el factor de amortiguamiento será menor que cero, evitando que el oscilador llegue a la zona no lineal [?].

### 3. Metodología

#### 3.0.1. Trabajo de preparación

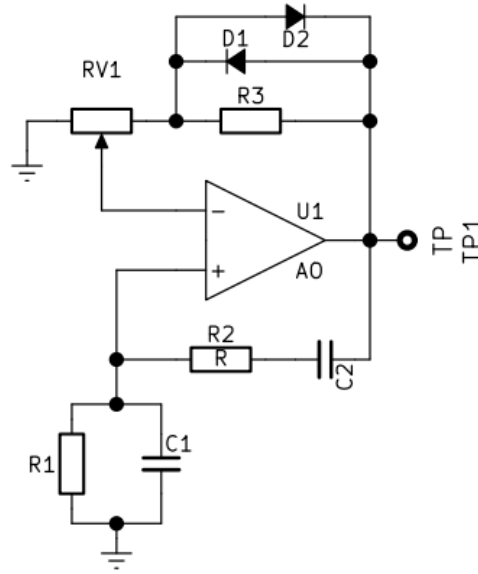


Figura 1: Oscilador de puente de Wien con control de amplitud

**Para el circuito de la figura 1, determinar la frecuencia de oscilación.**

Si se toma  $R_1 = R_2 = R$  y  $C_1 = C_2 = C$  La frecuencia de oscilación del circuito viene dada por la ecuación 22.

$$\omega_o = \frac{1}{R \cdot C} \quad (23)$$

**Diseñar (utilizando valores comerciales) el oscilador de la figura 1 con una frecuencia de oscilación de 5.0 kHz.**

Partiendo de la ecuación 22 primero fijamos el valor de los condensadores  $C$  ya que se fabrican con mucho menos variedad de valores que las resistencias, En este caso se seleccionará

$$C = C_1 = C_2 = 10nF \quad (24)$$

Ahora hallamos el valor de la resistencia:

$$R = \frac{1}{C\omega_o} \quad (25)$$

$$R = \frac{1}{10nF \cdot 2\pi \cdot 5,0kHz} \quad (26)$$

$$R = 3183\Omega \quad (27)$$

Un valor comercial cercano sería:

$$R = R_1 = R_2 = 3,3k\Omega \quad (28)$$

Ahora debemos cumplir con la condición  $A = 3$ , partiendo de la ecuación 11 y tomando en cuenta que para este circuito:

$$R_f = R_3 + xR_{v1} \quad (29)$$

$$R_s = (1 - x)R_{v1} \quad (30)$$

tenemos

$$A = 3 = 1 + \frac{R_3 + xR_{v1}}{(1-x)R_{v1}} \quad (31)$$

Si decimos que el potenciómetro tiene el valor

$$\boxed{R_{v1} = 10k\Omega} \quad (32)$$

y que  $x = 0,5$ , entonces tenemos

$$\begin{aligned} 3 &= 1 + \frac{R_3 + 5k\Omega}{5k\Omega} \\ 2 &= \frac{R_3 + 5k\Omega}{5k\Omega} \\ 10k\Omega &= R_3 + 5k\Omega \\ R_3 &= (10 - 5)k\Omega \\ R_3 &= 5k\Omega \end{aligned}$$

usando un valor comercial

$$\boxed{R_3 = 5,1k\Omega} \quad (33)$$

### Determinar la amplitud de la señal de salida cuando está presente el control de amplitud

Ahora, conectando los diodos al circuito en un principio no estarán funcionando, pero cuando el voltaje sea suficiente para polarizar los diodos estos entrarán en funcionamiento y toda la corriente pasará a través de ellos en vez de por la resistencia  $R_1$ , por tanto la ecuación 31 se vuelve

$$A = 1 + \frac{xR_{v1}}{(1-x)R_{v1}} \quad (34)$$

si decimos que  $x = 0$

$$\begin{aligned} A &= 1 + \frac{0,5R_{v1}}{0,5R_{v1}} \\ A &= 1 + 1 \\ A &= 2 \end{aligned}$$

Queremos encontrar la expresión de la tensión en la entrada negativa del amplificador  $V_N$ , para ello aplicamos un divisor de tensión desde  $V_o$

$$\begin{aligned} V_N &= \frac{(1-x)R_{v1}}{(1-x)R_{v1} + xR_{v1}}(V_o - V_{Don}) \\ V_N &= \frac{(1-x)R_{v1}}{(1-x+x)R_{v1}}(V_o - V_{Don}) \\ V_N &= \frac{(1-x)R_{v1}}{R_{v1}}(V_o - V_{Don}) \\ V_N &= (1-x)(V_o - V_{Don}) \\ V_N &= (1-x)V_o - (1-x)V_{Don} \end{aligned}$$

Recordando que

$$\frac{V_o}{V_N} = 3 \quad (35)$$

$$\frac{V_o}{3} = (1-x)V_o - (1-x)V_{Don}$$

despejamos  $V_o$

$$V_o = \frac{(1-x)V_{Don}}{1-x-\frac{1}{3}} \quad (36)$$

### 3.0.2. Simulaciones

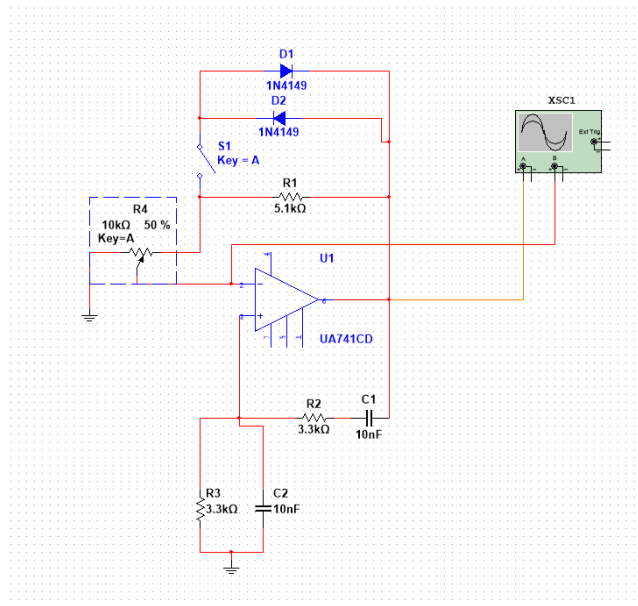


Ilustración 4: Circuito oscilador en el simulador

En la ilustración 4 se muestra el montaje del circuito oscilador en el programa Multisim.

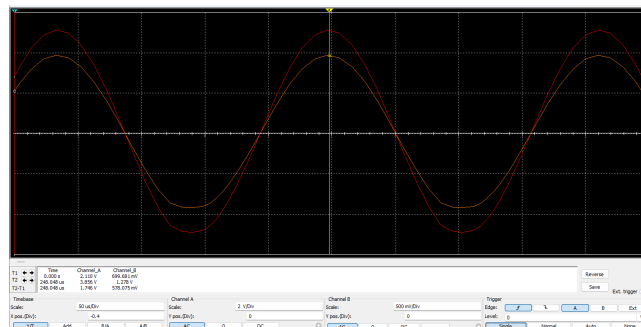


Ilustración 5: Forma de onda circuito oscilador sin control de amplitud

La ilustración 5 muestra la forma de onda de la señal de salida del oscilador sin control de amplitud y con  $x = 0,5$ . Podemos observar que la ganancia es 3.02 y la frecuencia de la señal es 4.76 kHz.

La ilustración 6 muestra la forma de la onda del circuito oscilador con control de amplitud cuando  $x = 0,5$ , podemos observar que la ganancia es 2.98 y la frecuencia es 4.76 kHz.

En la ilustración 7 se observa que la onda se empieza a saturar y que la frecuencia se empieza a alejar de la condición  $f = 5kHz$ .

En la ilustración 8 podemos ver que la onda se atenúa y la frecuencia se hace 4.34 kHz, alejándose de la frecuencia deseada de 5kHz.

De las simulaciones podemos observar que para el circuito sin control de amplitud el rango efectivo del potenciómetro es muy reducido,  $x$  debe ser muy cercano a 0.5, mientras que para el circuito con control de amplitud el rango de  $x$  aumenta hasta casi  $x = \pm 0,65$ . En la práctica de laboratorio se desea comprobar si el rango efectivo de  $x$  aumenta cuando se implementa el control de amplitud.



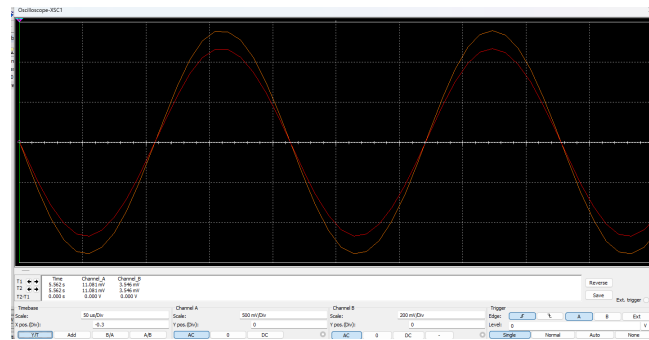


Ilustración 6: Forma de onda circuito oscilador con control de amplitud

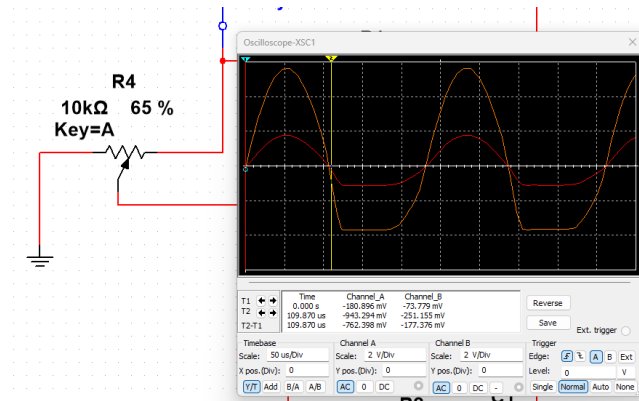


Ilustración 7: Forma de onda circuito oscilador con control de amplitud cuando  $x=0.65$

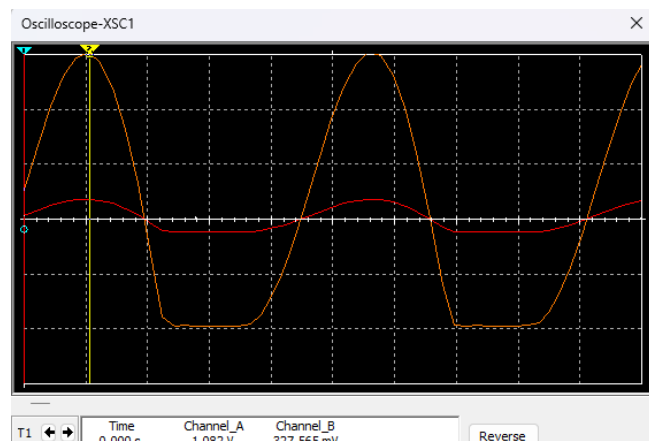


Ilustración 8: Forma de onda circuito oscilador sin control de amplitud cuando  $x=0.55$