

# **DISEÑO DE CIRCUITOS NO LINEALES**

## **PREINFORME ENTREGA 3: VCO**

### **GRUPO 2**

**Daniel Esteban González Zuluaga**

**Juan Diego Sánchez Parra**

**Santiago Burgos Martínez**

**31/Marzo/2020**

## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

### **1. Descripción de la temática a tratar**

#### **Generador de onda VCO:**

En esta práctica se presenta el desarrollo del bloque “Generador de onda seno” que conectara las etapas/diseños previamente realizados de PLL e Inversor puente H. Este generador de onda será un oscilador controlado por voltaje (VCO), el cual es un dispositivo que permite generar una onda seno a partir de una entrada de voltaje DC. Ahora, la frecuencia de oscilación será proporcional al voltaje que se le aplique a la entrada.

### **2. Alcance del diseño**

Para esta práctica se consigue obtener una señal seno la cual cumpla con los parámetros que son requeridos en la etapa/diseño del Inversor. La señal seno será creada a partir del voltaje DC proveniente de la salida del filtro pasa bajas (salida de la etapa/diseño PLL).

### **3. Análisis de fenómenos físicos: mecánicos, eléctricos, etc., que permitan plantear la solución en términos de ingeniería.**

Un componente fundamental para la realización de esta práctica y muchos circuitos electrónicos es el capacitor, este permite mediante la carga y descarga ir modificando la forma de onda resultante. Para el circuito del VCO actuará en las etapas del primer integrador para cambiar una señal cuadrada en una señal triangular. Teniendo en cuenta el valor de este capacitor, éste se podrá cargar o descargar de forma rápida o lenta, lo cual es de gran importancia ya que dependiendo del valor de capacitancia este modificara que tan eficiente será la modificación de la señal cuadrada. En la siguiente imagen se observan las ecuaciones características de la carga y descarga del condensador en un circuito RC, donde hay que tener en cuenta que este comportamiento sucede tanto en corriente como en voltaje.

<p><b>Carga</b></p> $V(t) = V_f(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$ $I(t) = \frac{V_f}{R}(e^{-\frac{t}{RC}})$ <p><b>Descarga</b></p> $V(t) = V_i e^{-\frac{t}{RC}}$ $I(t) = -\frac{V_i}{R}(e^{-\frac{t}{RC}})$
--

Figura 1. Carga y descarga de un condensador.

## PROPUESTA DE SOLUCIÓN

### 1. Descripción general de la solución propuesta

Para poder desarrollar este proyecto se debe tener en cuenta los dos proyectos presentados anteriormente, el PLL y el inversor, en el numeral 8 “*Consideraciones especiales o posibles problemas a tener en cuenta durante el montaje y pruebas*” se encontrará la justificación del por qué es necesario tener presente estos proyectos. Ahora, el objetivo de este proyecto se centra en la creación e implementación de una onda seno

Ahora, la propuesta para este diseño está compuesta por dos grandes secciones. la primera es el circuito del VCO, el cual tiene un circuito integrador, un circuito comparador, y un circuito de acondicionamiento de señal cuadrada. La segunda sección está compuesta por un circuito recortador, un circuito integrador, y por último un circuito de acondicionamiento de señal seno.

### 2. Análisis y justificación de la solución

La solución planteada está compuesta por dos bloques principales y unos sub-bloques que en conjunto permiten un correcto funcionamiento del diseño.

El primer bloque de este proyecto es un VCO el cual se encarga de entregar una señal triangular con una frecuencia de 60Hz. para obtener esta señal triángulo el bloque del VCO hace uso de los circuitos comparador y acondicionador de onda cuadrada. El segundo bloque se encarga de tomar la señal triangular proveniente del primer bloque, en esta parte se realiza un recorte a la señal triángulo, posteriormente se integra para así obtener una señal seno y por último se acondiciona la señal seno para cumplir con los parámetros de diseño requeridos.

### 3. Descripción de posibles alternativas

Se plantearon 2 posibles alternativas:

- Aplicar el voltaje DC que se obtuvo en la salida del PLL como polarización en el circuito oscilador puente de Wien, el cual es un oscilador de ondas sinusoidales generadas mediante un amplificador operacional realimentado por un puente compuesto de cuatro resistencias y dos condensadores, como se muestra en la Figura 2. Se intentó probar esta idea en el

simulador ORCAD, y funciona de forma correcta para un voltaje DC estable, pero al momento de cambiar los voltajes, teniendo en cuenta que la salida del PLL no es siempre constante y tiene un pequeño rango de variación, el oscilador deja de funcionar ya que esta señal no es el DC que se necesita para que el oscilador funcione correctamente. Para las pruebas de variación de voltaje se realizaron con una fuente cuadrada y un filtro pasa bajos, los cuales representan la salida del PLL.

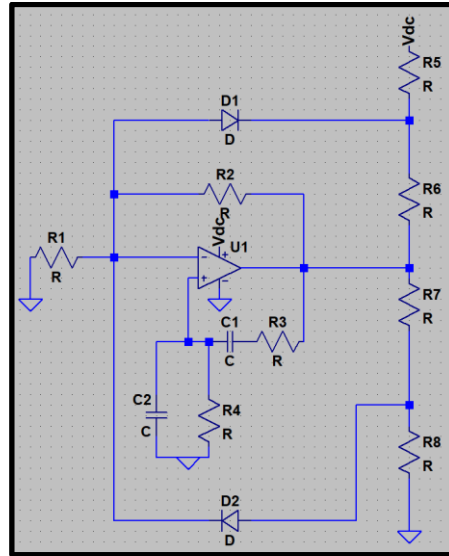


Figura 2. Circuito oscilador puente de Wien.[2]

- Se contempló la opción de unificar 3 circuitos: un VCO de onda cuadrada, seguido de un integrador y por último un conformador de onda. El modelo funcional de cada bloque se describe en la figura 4. Esta opción también plantea el uso de una sola fuente de polarización.

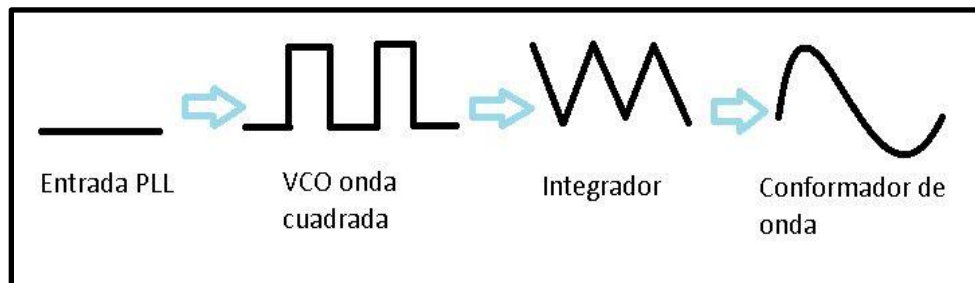


Figura 3. Funcionamiento opción 2.

Esta opción fue descartada ya que para su correcto funcionamiento se necesitan componentes de precisión, y el fin este proyecto es de no pedir componentes a Estado Unidos sino utilizar los que se encuentran en Bogotá. Además, para la implementación de un circuito integrador con una fuente única de polarización, se encontró una forma de hacer la cual eleva el nivel de dificultad de implementación de este (Circuito integrador Howland)[3].

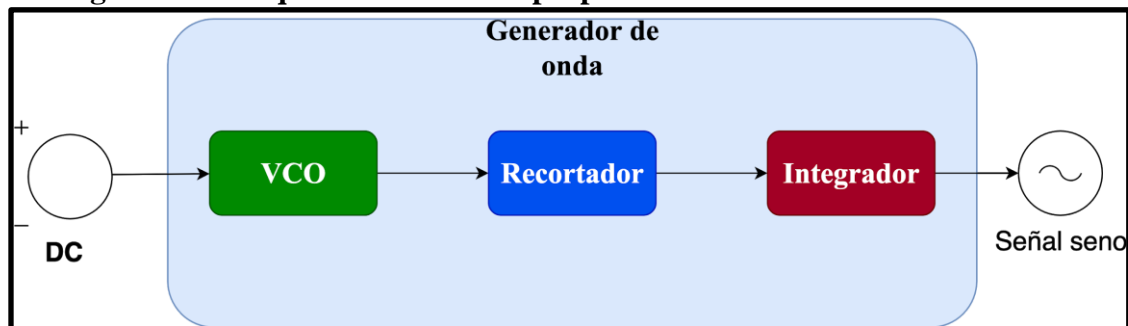
#### 4. Especificaciones generales a cumplir

El diseño del VCO debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- **Salida**
  - Voltaje de salida  $V_0 = 2.8 V_{pp}$
  - Offset = 1.5 V
  - Frecuencia  $f = 60 Hz \pm 5\%$
  - Potencia de salida  $P_0 = 15 W$
- **Entrada**
  - Voltaje de entrada 8V

#### BLOQUES FUNCIONALES

##### 1. Diagrama en bloques de la solución propuesta



*Figura 4. Diagrama en bloques del Generador de onda seno.*

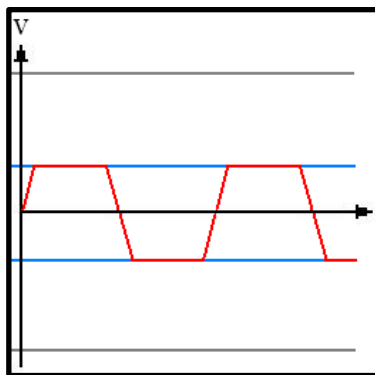
##### 2. Justificación o análisis de cada uno de los bloques funcionales de la propuesta

###### **VCO:**

Este bloque tiene la función de recibir una señal DC proveniente del PLL (filtro pasa bajas), la frecuencia de salida de este bloque es controlada por medio de un capacitor y dos resistencias además del voltaje de entrada. En esencia, a partir de un DC obtener una señal triangular, la cual en los circuitos subsiguientes se adecuará para obtener una onda seno que servirá como referencia para el inversor.

###### **Recortador:**

Este bloque se encarga de tomar la onda triangular proveniente del bloque VCO, procesarla para obtener una señal triangular recortada por arriba y por abajo, es decir, una señal la cual presenta características de que está saturada por ambos extremos (superior e inferior) como se muestra en la Figura 5



*Figura 5. Salida bloque recortador.*

#### **Integrador:**

Este bloque tiene la tarea de convertir la onda triangular recortada en una onda seno apta para ser utilizada como referencia en el diseño del inversor.

### **3. Especificaciones entrada-salida de cada bloque**

#### **VCO:**

**Entrada :** Voltaje DC proveniente del PLL

**Salida:** Señal triangular de frecuencia dependiente del voltaje de entrada.

#### **Recortador:**

**Entrada:** Señal triangular proveniente del VCO

**Salida:** Señal triángulo recortada por arriba y por abajo.

#### **Integrador**

**Entrada:** Señal de salida del recortador

**Salida:** Señal seno

### **4. Modelo funcional de cada bloque**



*Figura 6. Modelo funcional VCO.*



*Figura 7. Modelo funcional recortador.*



Figura 8. Modelo funcional integrador.

## 5. Dimensionamiento de componentes (cálculos teóricos con comentarios explicativos y criterios de selección de componentes)

A Continuación, se muestra un análisis de cada uno de los circuitos que componen el bloque del VCO:

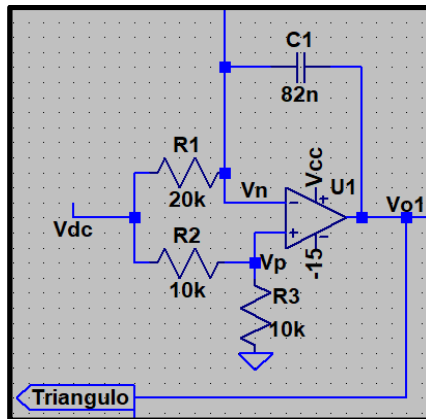


Figura 9. Esquemático primera parte VCO.

El circuito presente en la Figura 9, es el encargado de recibir el voltaje DC del PLL, y de entregar en su salida una señal triangular con la frecuencia de 60Hz.

$$V_{P1} = \frac{V_{dc} * R_3}{R_2 + R_3}$$

Sabemos que  $R_3 = R_2$ , por lo tanto:

$$V_{P1} = \frac{V_{dc}}{2 * R_2}$$

Por ley de los operacionales el voltaje que se encuentra en el terminal no inversor se refleja en el terminal inversor.

$$V_{P1} = V_{N1}$$

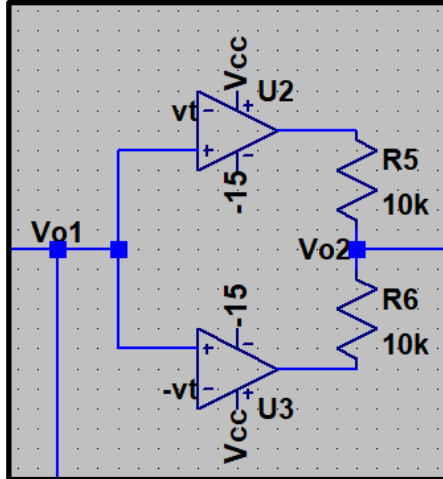


Figura 10. Esquemático segunda parte VCO.

$$V_{o2} = 15 \text{ si } V_{o1} < 15 \text{ V}$$

$$V_{o2} = -15 \text{ si } V_{o1} > 15 \text{ V}$$

El circuito presentado en la Figura 10 (circuito comparador), es el circuito que a partir de la señal triangular que viene del circuito previamente explicado, entrega en su salida  $V_{cc}$  o  $-V_{cc}$ , los cuales son la base para la señal cuadrada que se obtendrá en el siguiente circuito.

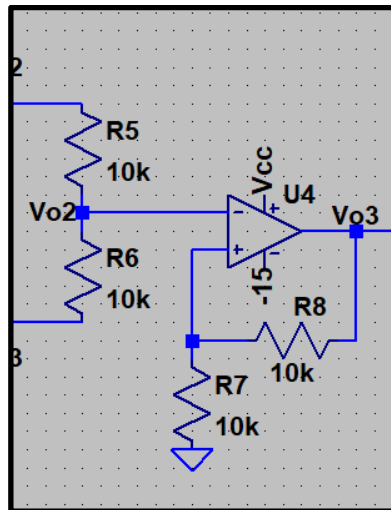


Figura 11. Esquemático tercera parte VCO.

$$V_{o3} = V_{o2} * \left( \frac{R_8 + R_7}{R_8} \right)$$

En el circuito de la Figura 11, se encarga de tomar la señal proveniente del circuito comparador y entrega en su salida una onda cuadrada.

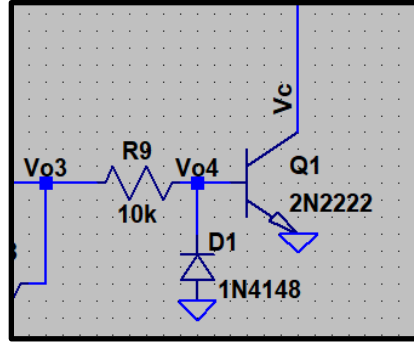


Figura 12. Esquemático cuarta parte VCO.

$$V_{o4} = V_{o3}$$

El circuito de la Figura 12, se encarga de tomar la señal cuadrada y cambiar/modificar su amplitud limitando por arriba y por abajo por D1 dando un  $V_{o4}$  no mayor a  $\pm 0.7V$ .

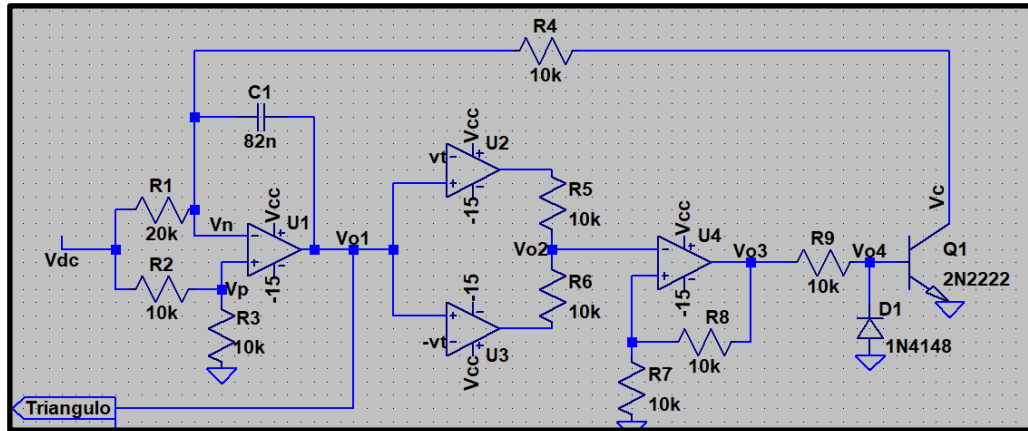


Figura 13. Esquemático completo VCO.

Ahora se muestra la ecuación de la salida del operacional para hallar qué proporción deben tener las resistencias  $R_1$  y  $R_4$ .

$$V_{o1} = -\frac{1}{R_1 C} \int (V_{dc}(t) - V_N(t)) dt - \frac{1}{R_4 C} \int (V_C(t) - V_N(t)) dt$$

Por la ley de los operacionales la primera integral es una constante

$$V_{o1} = -\frac{1}{R_1 C} * \frac{V_C}{2} - \frac{1}{R_4 C} \int (V_C(t) - V_N(t)) dt$$

La relación entre  $R_1$  y  $R_4$  se observa que es de 2 a 1 respectivamente o viéndolo de otra forma  $R_4 = \frac{R_1}{2}$ .

A continuación, se presenta el análisis realizado a la segunda sección del circuito.



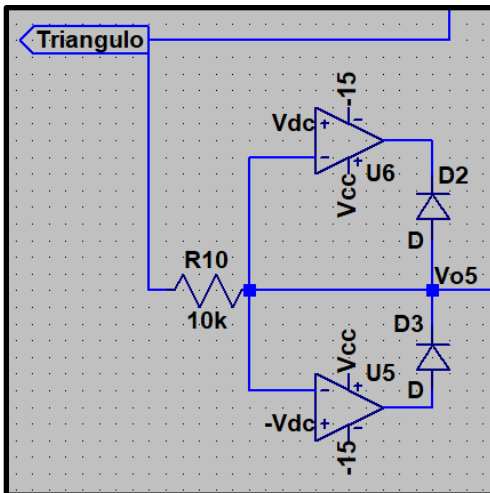


Figura 14. Esquemático circuito recortador.

En este circuito (recortador) la saturación de la señal triángulo está dada por los diodos, ya que el voltaje de salida máximo y mínimo está dado por:

$$V_{o5}^{max} = V_{dc} - V_d$$

$$V_{o5}^{min} = -V_{dc} + V_d$$

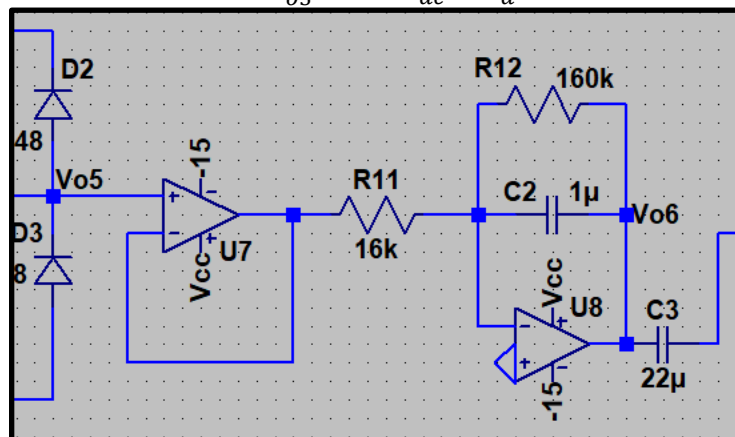


Figura 15. Esquemático buffer e integrador.

La función del buffer es evitar que entre el integrador y el recortada exista efecto de carga. En las secciones siguientes se presentan los cálculos realizados para la escogencia de los componentes de este circuito.

$$f = 60\text{hz}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_{12} C}$$

$$f_c < 10f_s$$

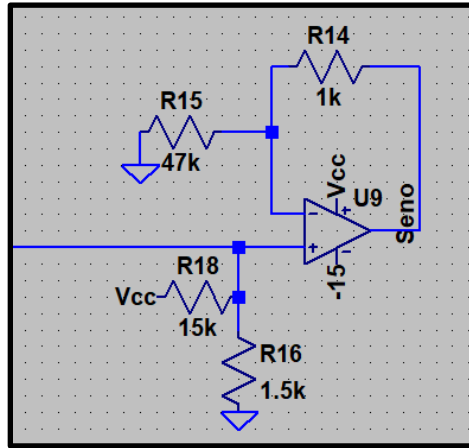
$$R_{12} = 10R_{11}$$

$$R_{11}C = 0.016$$

Suponemos un capacitor de  $1\mu F$  obteniendo así los siguientes valores de resistencia:

$$R_{11} = 16k\Omega$$

$$R_{12} = 160k\Omega$$



*Figura 16. Esquemático circuito acondicionamiento final .*

Por último, el circuito de acondicionamiento se encarga de tomar la señal seno proveniente del integrador, le añade un offset y modifica su amplitud para cumplir con los requisitos de diseño.

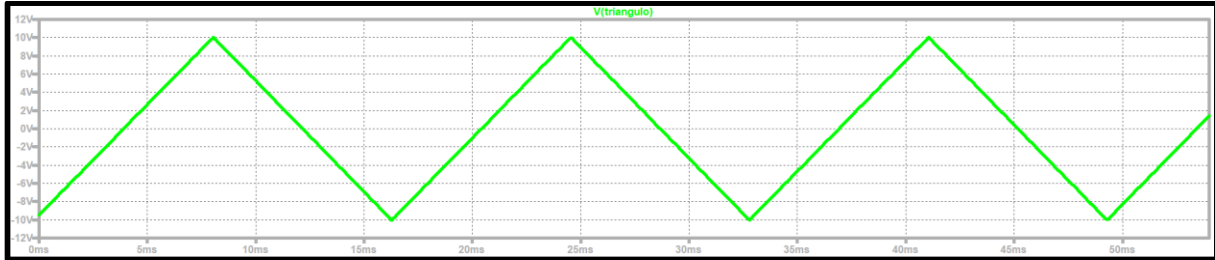
$$V_{offset} = \left( \frac{V_{cc} * R_{16}}{R_{16} + R_{18}} \right) = 1.364 V$$

$$V_{out} = V_p \left( \frac{R_{15} + R_{14}}{R_{15}} \right)$$

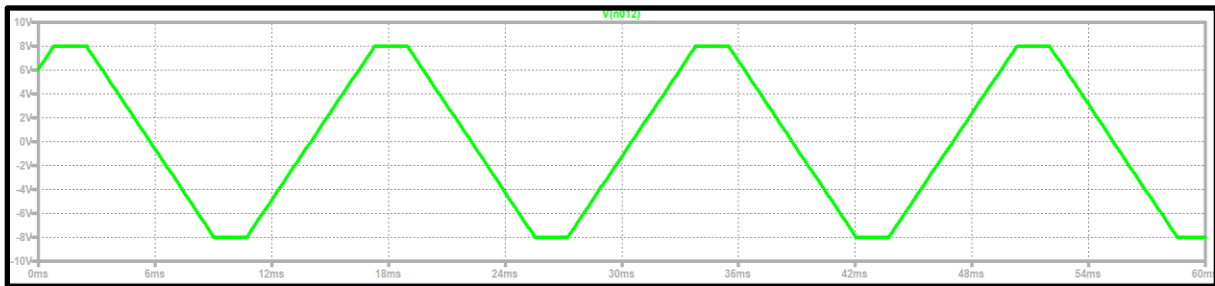
$$V_{out} = V_p(1.021)$$

Para mantener integridad y simetría de la señal en cada etapa del circuito se escogen resistencias iguales, en donde el circuito lo permita.

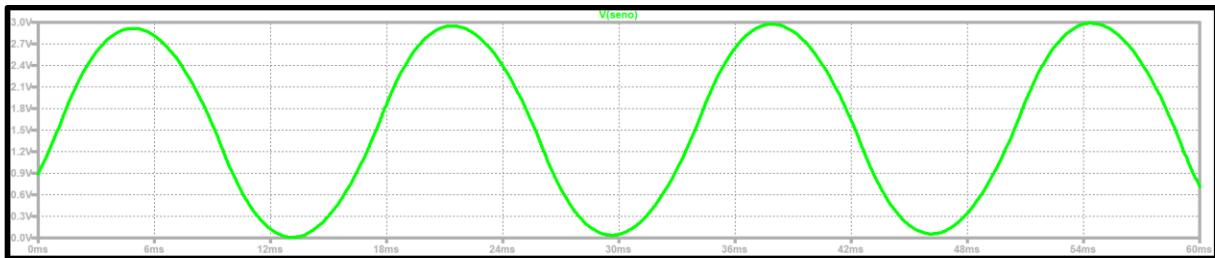
## 6. Simulación del sistema propuesto



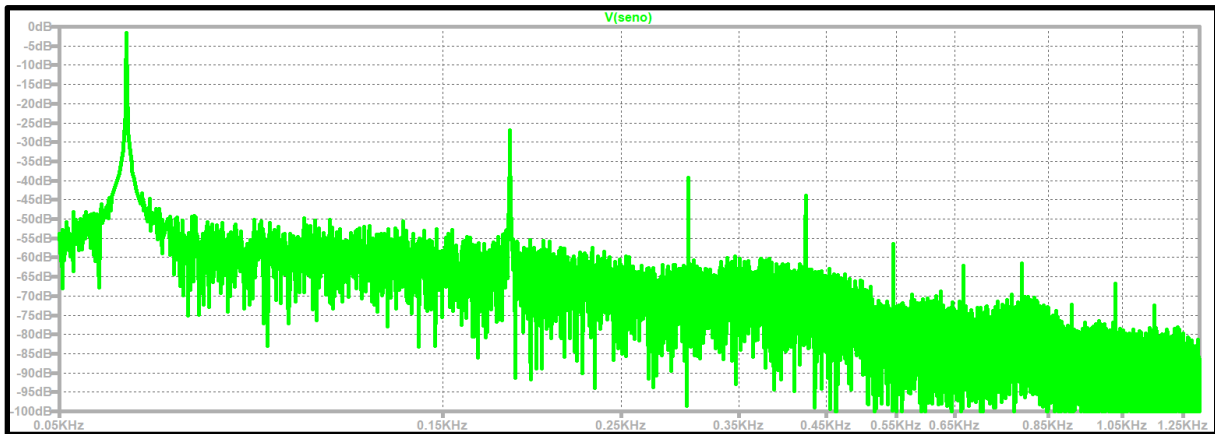
*Figura 17. Señal triangular a la salida del VCO.*



*Figura 18. Señal triangular recortada a la salida del recortador.*



*Figura 19. Señal seno a la salida del generador de onda.*



*Figura 20. FFT de la señal seno de salida del generador de onda.*

## 7. Análisis de resultados de simulación, datos, gráficas, tablas, etc.

En las imágenes presentadas de la simulación podemos ver el funcionamiento esperado de cada etapa que hacen parte del Generador de onda seno VCO, en la primera imagen se ve la señal de salida de la etapa VCO que convierte un voltaje DC de entrada de 8V y una onda cuadrada a una señal triangular con voltaje pico a pico  $V_{pp}$  de 20 V y un  $V_{rms}$  igual a 5.77 V, con un periodo  $T$  de 16 ms y una frecuencia igual a 60 Hz, en esta etapa podemos ver que los requisitos de diseño se están cumpliendo.

En la segunda imagen ya podemos observar la señal de salida resultante de la etapa del integrador y del circuito de acondicionamiento, es decir, de todo el generador de onda, viendo una señal más curva que se asemeja a una señal seno con una frecuencia también de 60 Hz y un voltaje pico a pico  $V_{pp}$  de 2.8 V y un  $V_{rms}$  de 1 V que es el esperado según el diseño. Por último, se presenta la simulación FFT de la onda seno de salida.

## 8. Consideraciones especiales o posibles problemas a tener en cuenta durante el montaje y pruebas

Para este diseño hay que tener en cuenta algunos parámetros del PLL y del Inversor PUENTE h. De esta forma, la salida del PLL es la entrada al Generador de onda y la salida de este va a ser la entrada de referencia para el circuito Inversor. Para que todo el proyecto en conjunto funcione correctamente hay que cumplir ciertas especificaciones, como lo es el voltaje de la señal de referencia que va a entrar al Inversor (mencionado en las especificaciones generales). Además, hay que tener presente que tipo de señal se encuentra en la salida del PLL para poder hacer los cálculos correctos en el Generador de onda seno VCO.

## CIRCUITO ESQUEMÁTICO COMPLETO

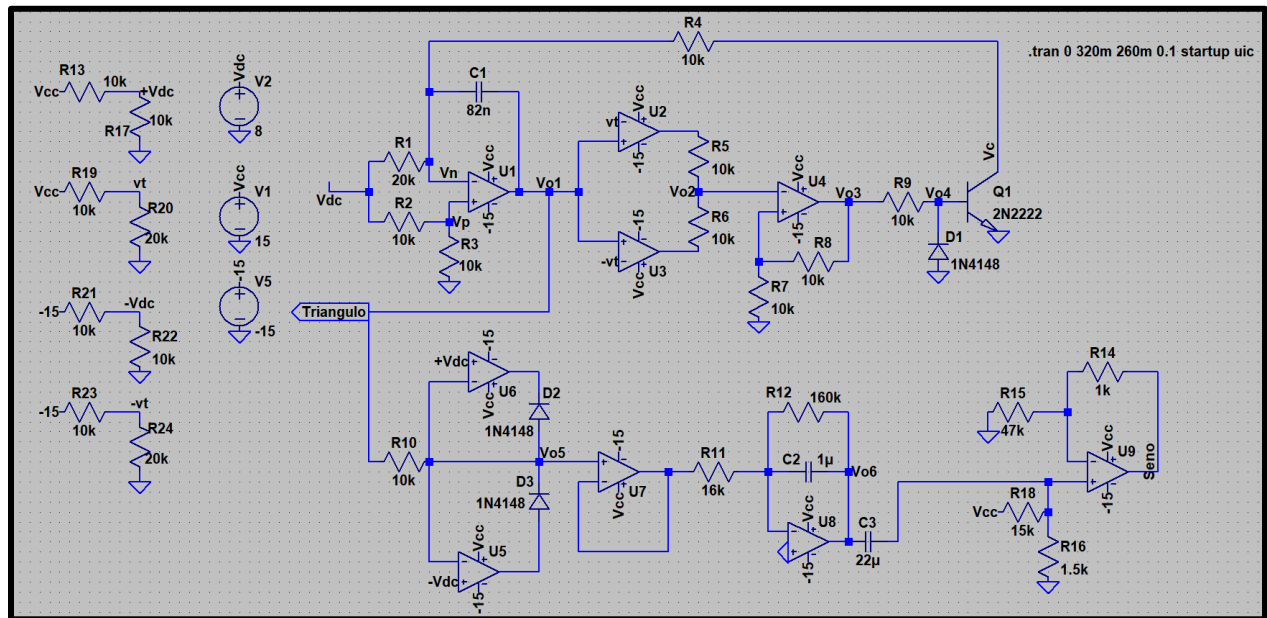


Figura 221. Esquemático completo generador de onda seno.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Teoría y circuitos vistos en las clases de: Dispositivos Electrónicos y Electrónica No lineal.
- [2] Sedra/Smith “Circuitos microelectrónicos”, cuarta edición.
- [3] AN-1515 A Comprehensive Study of the Howland Current Pump  
<http://www.ti.com/lit/an/snoa474a/snoa474a.pdf> consultado el 30/03/2020.
- [4] “Condensador eléctrico” [https://es.wikipedia.org/wiki/Condensador\\_el%C3%A9ctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Condensador_el%C3%A9ctrico)  
consultado el 30/03/2020.
- [5] “Tecnología VCO” <https://www.monografias.com/trabajos4/vco/vco.shtml> consultado el 30/03/2020.
- [6] “Amplificador integrador” <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2017/01/amplificador-integrador.html> consultado el 30/03/2020.