



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**Escuela Superior de CÓMPUTO**



***ELECTRÓNICA ANALÓGICA***  
***PLAN 2020***

***PRÁCTICA 6***

***CONFIGURACIONES ESPECIALES***  
***CON AMPLIFICADORES***  
***OPERACIONALES***

***Bernal Ramírez Brian Ricardo***

***Escalona Zuñiga Juan Carlos***

***Rojas Peralta Maximiliano***

**DR. OSCAR CARRANZA CASTILLO**

# CONFIGURACIONES ESPECIALES CON AMPLIFICADORES OPERACIONALES

## INTRODUCCIÓN

Los amplificadores operacionales son dispositivos electrónicos clave en el diseño de circuitos analógicos gracias a su versatilidad, facilidad de modelado y amplia gama de aplicaciones. Inicialmente los amplificadores operacionales se diseñaron para realizar operaciones matemáticas como sumas, restas, integración y derivación en sistemas analógicos, sin embargo, con el tiempo han evolucionado para incluir diversas configuraciones especiales que amplían su funcionalidad a aplicaciones más específicas. Entre estas configuraciones se encuentran los comparadores de nivel de voltaje, detectores de cruce por cero y comparadores con histéresis, que son ampliamente utilizados en sistemas de control, procesamiento de señales y dispositivos de protección. Un amplificador operacional, por definición, es un circuito integrado de alta ganancia de voltaje que generalmente tiene una entrada inversora, una entrada no inversora y una salida.

Para ampliar el enfoque de esta práctica, es importante destacar que los amplificadores operacionales también se utilizan en configuraciones avanzadas como filtros activos, osciladores y reguladores de voltaje. Estas aplicaciones aprovechan las características ideales y no ideales de los amplificadores operacionales para resolver problemas específicos en el diseño de circuitos. Por ejemplo, los filtros activos permiten seleccionar o eliminar frecuencias determinadas, mientras que los osciladores generan señales periódicas útiles en sincronización y pruebas de sistemas.

El comportamiento ideal de un amplificador operacional se define por una resistencia de entrada infinita, resistencia de salida nula y una ganancia de voltaje o corriente infinita, sin embargo, para una aplicación en su comportamiento ideal estas características son aproximadas, pero lo suficientemente precisas para la mayoría de las aplicaciones analógicas. Los amplificadores operacionales pueden configurarse de diversas maneras para satisfacer diferentes necesidades, desde amplificadores de señal hasta elementos de comparación y control.

### Comparadores de voltaje

La presente práctica tendrá un enfoque principal respecto a los comparadores de voltaje, por lo que será preciso definirlos.

Los comparadores de voltaje son una de las configuraciones más comunes y fundamentales de los amplificadores operacionales. Su función principal es comparar dos voltajes de entrada y generar una salida que indique cuál de ellos es mayor. Si el voltaje en la entrada no inversora es superior al de la entrada inversora, la salida se satura al nivel positivo máximo. En cambio, si el voltaje en la entrada inversora es mayor que el de la entrada no inversora, la salida se satura al nivel negativo máximo.

El detector de cruce por cero es una aplicación específica de los comparadores. Su propósito es identificar los momentos en que una señal senoidal o cualquier otra forma de onda cruza el nivel cero. Esta información es vital en sistemas que requieren sincronización tal como en inversores, controladores de motores y circuitos de conmutación. El detector de cruce por cero puede configurarse como inversor o no inversor, dependiendo de cómo se conecten las entradas al amplificador operacional.

En la configuración inversora, la señal de entrada se aplica a la terminal inversora, mientras que el nivel de referencia (cero voltios) se conecta a la terminal no inversora. La salida cambia de estado cada vez que la entrada cruza el nivel de referencia. De manera similar, en la configuración no inversora, la señal de entrada se aplica a la terminal no inversora, con el nivel de referencia conectado a la inversora.

La principal diferencia entre estas configuraciones radica en la fase de la salida en relación con la entrada. Además de detectar cruces por cero, estos circuitos también pueden emplearse en aplicaciones como la generación de pulsos para temporizadores o como componentes clave en sistemas de control de potencia que requieren una detección precisa de transiciones entre niveles.

Las configuraciones especiales de amplificadores operacionales tienen un amplio espectro de aplicaciones, entre las cuales podemos incluir:

**Controladores industriales:** Los detectores de cruce por cero son esenciales en la sincronización de dispositivos controlados por corriente alterna.

**Protección de circuitos:** Los comparadores de nivel de voltaje se utilizan para detectar condiciones anómalas, como sobrevoltajes o subvoltajes.

**Conversores analógico-digitales (ADC):** Los comparadores son componentes clave en los ADC para convertir señales analógicas en digitales.

**Sistemas de iluminación:** Los comparadores con histéresis evitan el parpadeo de luces LED al estabilizar las transiciones.

**Procesamiento de señales:** El uso de AO en aplicaciones como filtros y rectificadores se complementa con comparadores para la detección de eventos específicos.

Una vez definido el contenido de la práctica podemos adentrarnos en el terreno de la experimentación. La presente avalará toda la información previa, así como los cálculos teóricos que se lleguen a realizar, por medio de la experimentación y consumación de circuitos electrónicos. Para esto utilizaremos principalmente amplificadores operacionales LM741, Triac 2N6344 y Octo acopladores MOC3011.

Tras la realización de esta práctica habremos hecho un gran paso para nuestro desarrollo profesional, habiendo aprendido nuevas aplicaciones para tecnología con la que ya estamos familiarizados. Proporcionándonos de esta manera una oportunidad de obtener nuevas habilidades, como la identificación del modo de operación de dichos comparadores. a su vez que nos permitirán convertirnos en un profesional más capacitado para el tratamiento y diseño de circuitos de electrónica analógica.

Se espera que al final de la práctica se hayan logrado los objetivos previamente planteados y se obtenga una experimentación que pueda considerarse satisfactoria. En la cual los alumnos puedan identificar cada una de las características y funcionalidades de tanto amplificadores operacionales como de comparadores de voltaje.

### 1. OBJETIVO

Al término de la práctica, el alumno comprobará el uso de los comparadores simples y comparadores de histéresis, realizará aplicaciones con comparadores, y además interpretará los resultados obtenidos de los circuitos realizados.

## 2. MATERIAL

Material		Equipo	
11	LM741 (Amplificador Operacional)	1	Protoboard
3	Resistencias de $100\ \Omega$ a $\frac{1}{4}\ W$	1	Fuente de alimentación
2	Resistencias de $180\ \Omega$ a $\frac{1}{4}\ W$	1	Multímetro
2	Resistencias de $680\ \Omega$ a $\frac{1}{4}\ W$	1	Generador de funciones
18	Resistencias de $1\text{k}\Omega$ a $\frac{1}{4}\ W$	1	Osciloscopio
2	Resistencias de $2.2\ \text{k}\Omega$ a $\frac{1}{4}\ W$	1	Cable BNC-Caimán
2	Resistencias de $3.9\ \text{k}\Omega$ a $\frac{1}{4}\ W$	2	Cables para Osciloscopio
3	Resistencias de $10\ \text{k}\Omega$ a $\frac{1}{4}\ W$	2	Puntas para multímetro
4	Potenciometro de $10\ \text{k}\Omega$	4	Cables banana-Caimán
1	Fotoresistencia $10\ \text{k}\Omega$		
2	Diodos Zener a $5.1\ V$ $1\ W$ ó 1N4733		
2	Triac 2N6344 o equivalente		
2	Opto acoplador MOC3011		
6	LEDs rojos.		
1	Foco de $40\text{W}$ .		
1	Socket		
1	Clavija		
1	Metro de cable duplex No. 14		

**Nota.** La simbología empleada en los circuitos eléctricos está acorde a la norma ANSI Y32.2

## 3. DESARROLLO

### 3.1 Detector de Cruce por Cero No Inversor.

Armar el circuito que se muestra en la Fig. 6.1, donde V3 es una fuente de voltaje senoidal con una amplitud pico a pico de  $5\ V$  y una frecuencia de  $1\ \text{kHz}$  en la terminal de entrada ( $V_i$ ).

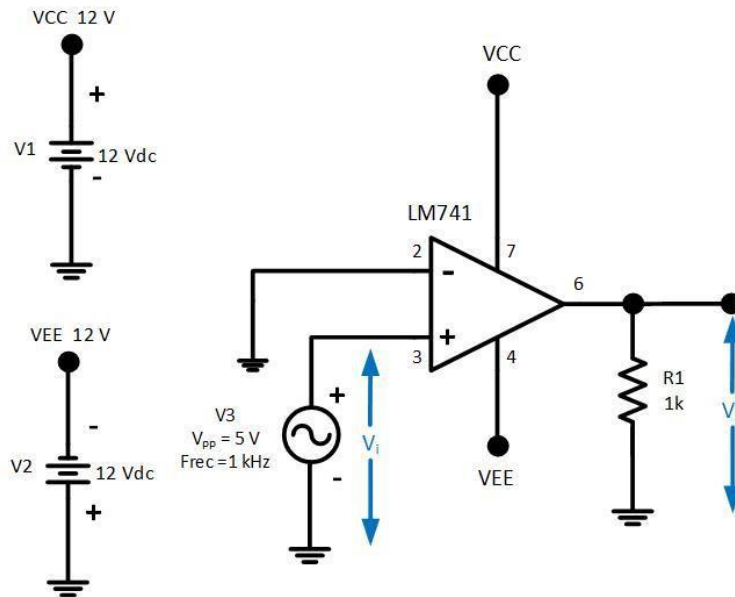
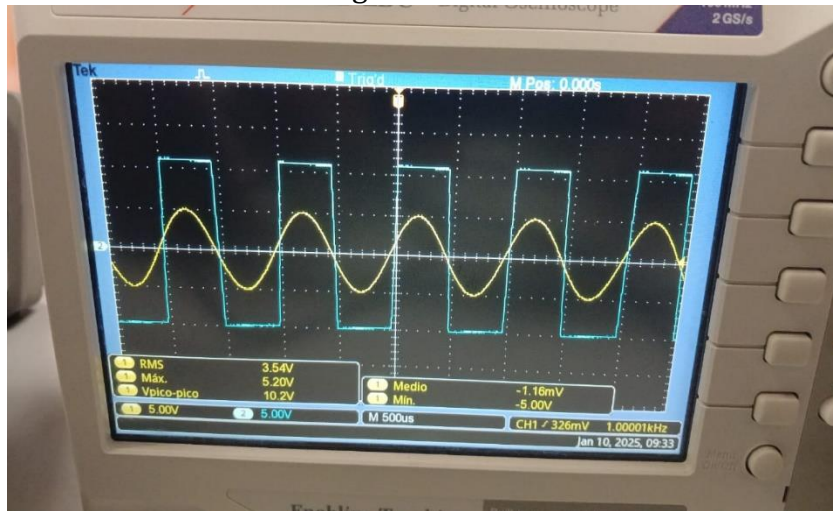


Fig. 6.1. Circuito del Detector de Cruce por Cero No Inversor.

En el osciloscopio observar el voltaje de entrada ( $V_i$ ) en el canal 1 y el voltaje de salida ( $V_o$ ) en el canal 2, graficar las formas de ondas en la Fig. 6.2.



5\_\_\_V/div canal 1 \_\_\_5 V/div canal 2 \_\_\_500useg/div

Fig. 6.2. Gráfica de las señales de entrada y salida del circuito del Detector de Cruce por Cero No Inversor.

Empleando el mismo circuito y la misma señal de entrada, observar la función de transferencia ( $V_o/V_i$ ) en el osciloscopio en el modo X-Y, graficar la función de transferencia en la Fig. 6.3.

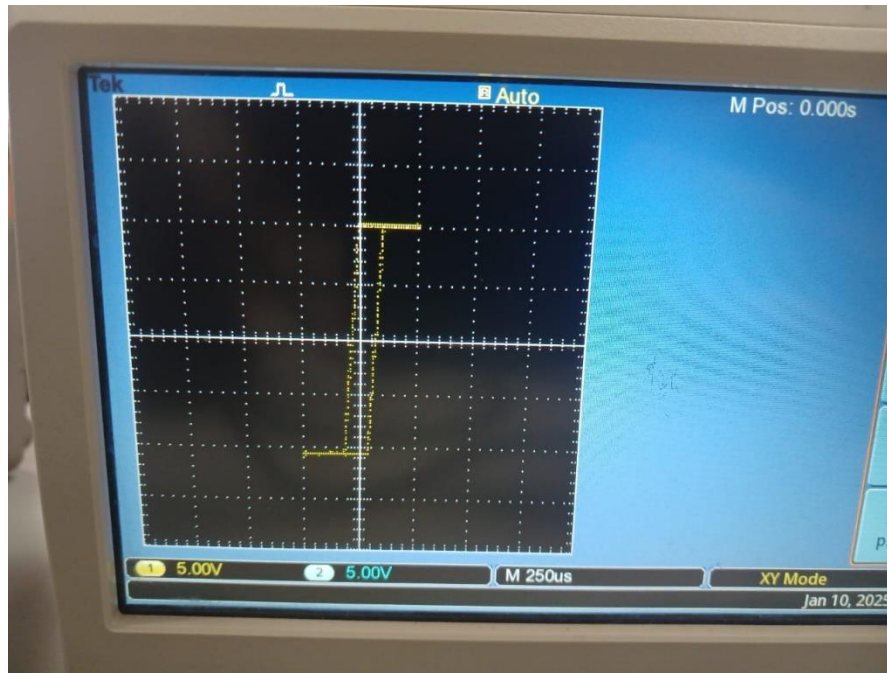


Fig. 6.3. Función de transferencia del Detector de Cruce por Cero No Inversor.

### 3.2 Detector de Cruce por Cero Inversor.

Armar el circuito que se muestra en la Fig. 6.4, donde V3 es una fuente de voltaje senoidal con una amplitud pico a pico de 5 V y una frecuencia de 1 kHz en la terminal de entrada ( $V_i$ ).

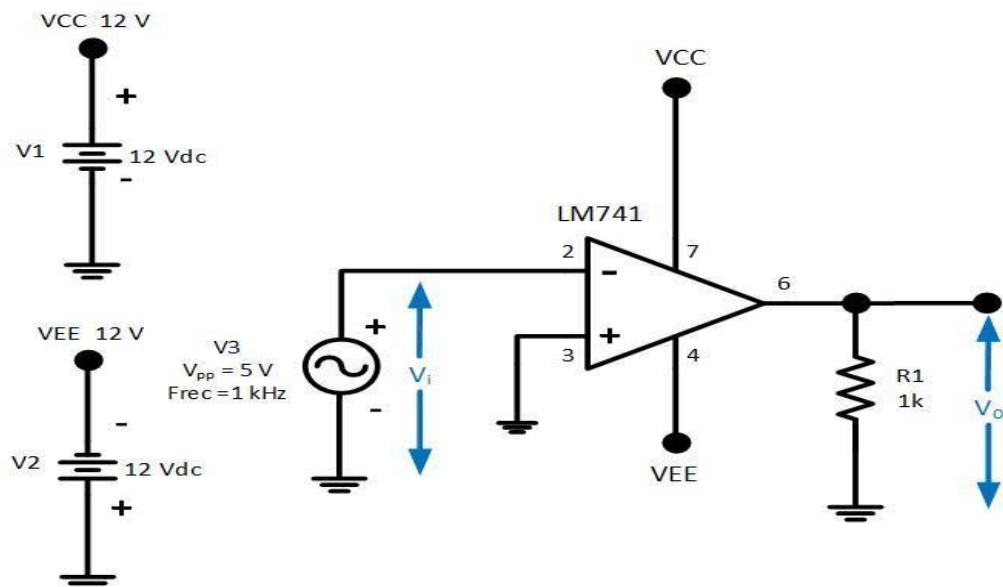


Fig. 6.4. Circuito del Detector de Cruce por Cero Inversor.

En el osciloscopio observar el voltaje de entrada ( $V_i$ ) en el canal 1 y el voltaje de salida ( $V_o$ ) en el canal 2, graficar las formas de ondas en la Fig. 6.5.



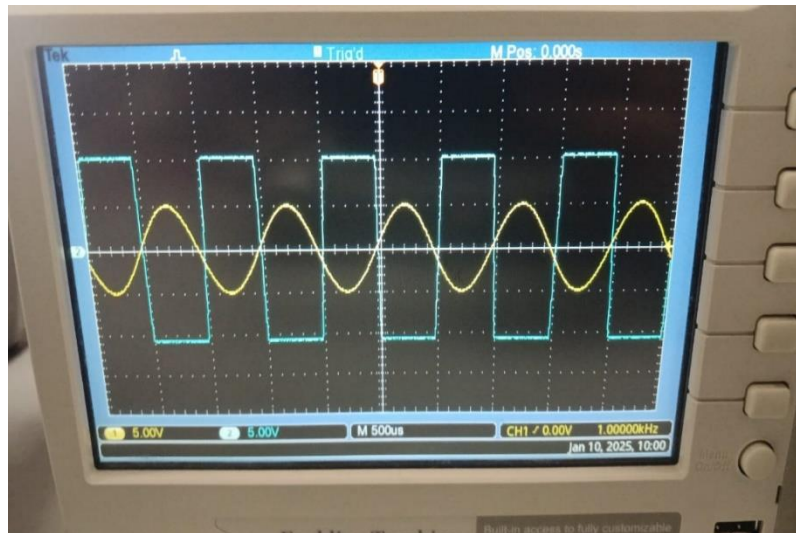


Fig. 6.5. Gráfica de las señales de entrada y salida del circuito del Detector de Cruce por Cero Inversor.

Empleando el mismo circuito y la misma señal de entrada observar la función de transferencia ( $V_o/V_i$ ) en el osciloscopio en el modo X-Y, graficar la función de transferencia en la Fig. 6.6.

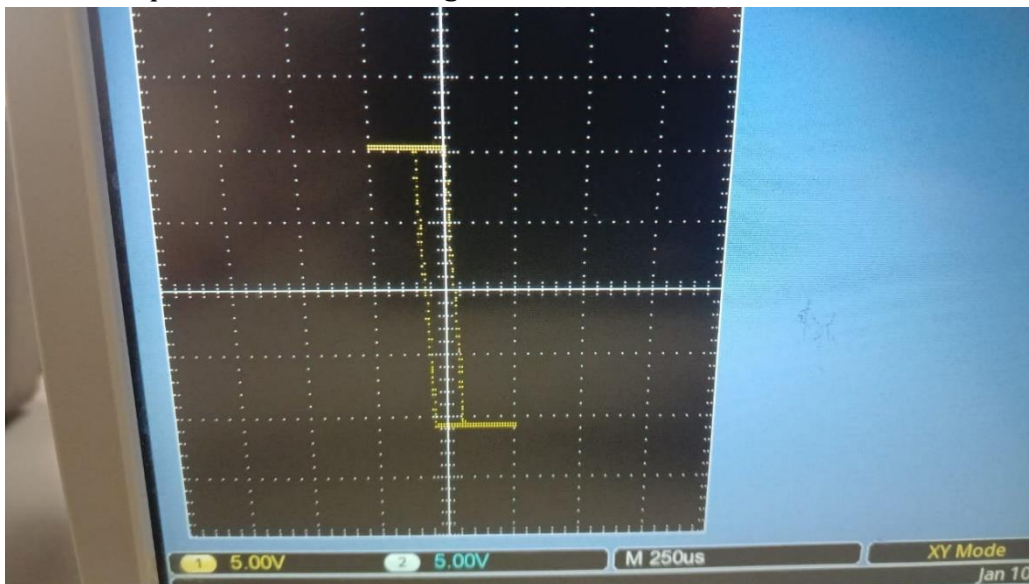


Fig. 6.6. Función de transferencia del Detector de Cruce por Cero Inversor.

### 3.3 Detector de Cruce por Cero Inversor con Histéresis.

Armar el circuito que se muestra en la Fig. 6.7, donde V3 es una fuente de voltaje senoidal con una amplitud pico a pico de 16 V y una frecuencia de 1 kHz en la terminal de entrada ( $V_i$ ).

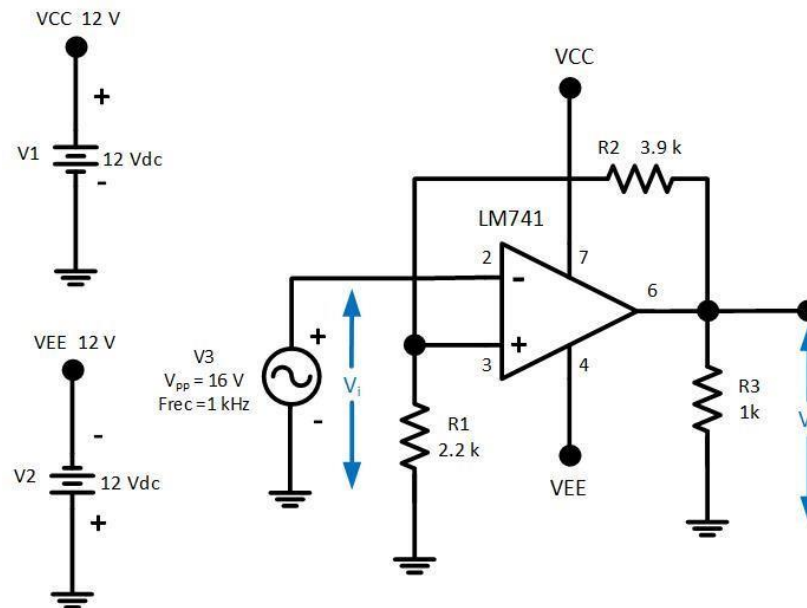
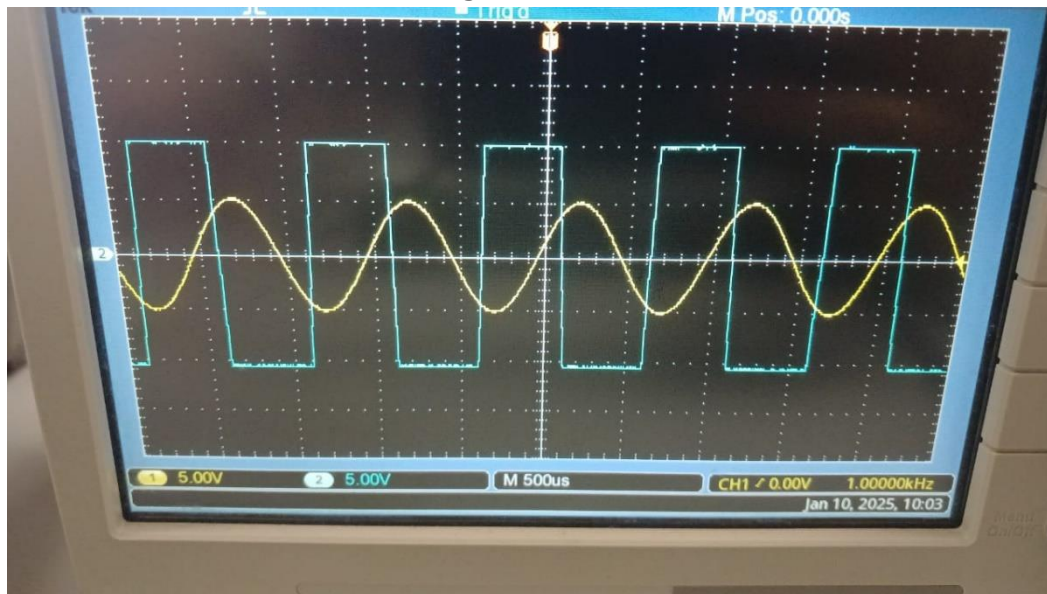


Fig. 6.7. Circuito del Detector de Cruce por Cero Inversor.

En el osciloscopio observar el voltaje de entrada ( $V_i$ ) en el canal 1 y el voltaje de salida ( $V_o$ ) en el canal 2, graficar las formas de ondas en la Fig. 6.8.



\_\_\_5V/div canal 1 \_\_\_5V/div canal 2 \_\_\_500useg/div

Fig. 6.8. Gráfica de las señales de entrada y salida del circuito del Detector de Cruce por Cero Inversor.

Empleando el mismo circuito y la misma señal de entrada observar la función de transferencia ( $V_o/V_i$ ) en el osciloscopio en el modo X-Y, graficar la función de transferencia en la Fig. 6.9.



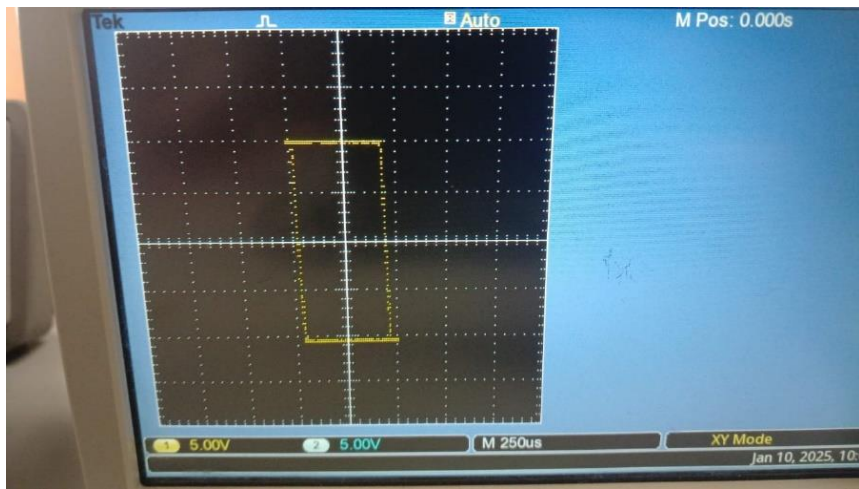


Fig. 6.9. Función de transferencia del Detector de Cruce por Cero Inversor.  
 5V/div canal 1 5V/div canal 2 250useg/div

### 3.4 Aplicaciones del Detector de Nivel de Voltaje

Armar el circuito que se muestra en la Fig. 6.10.

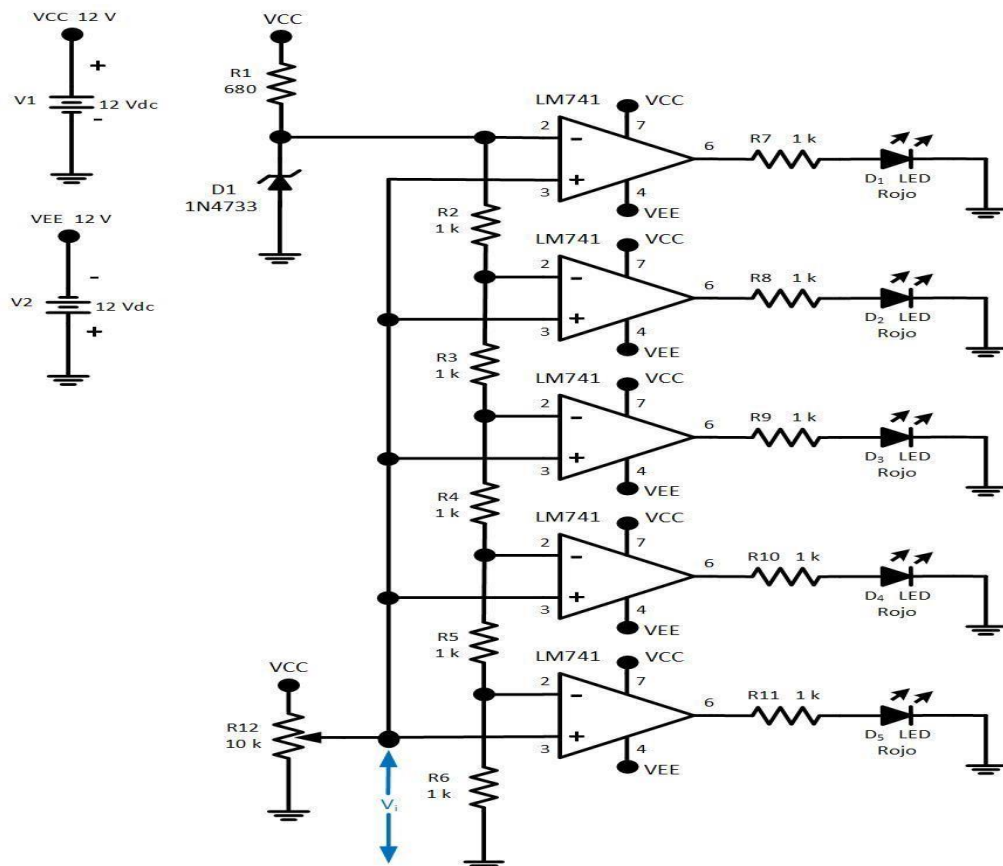


Fig. 6.10. Circuito de Aplicación de Comparador de Nivel Simple.

Variar el voltaje de entrada ( $V_i$ ) mediante el potenciómetro (R12), y registrar el valor del voltaje de entrada ( $V_i$ ) al cual se enciende cada uno de los LEDs, en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Valores del voltaje de entrada que enciende a cada LED.

LED	Voltaje de entrada ( $V_i$ )
5	5.302 V
4	4.289 V
3	3.150 V
2	2.210 V
1	1.2 V

### 3.5 Aplicaciones del Detector de Nivel de Voltaje con Histéresis

Armar el circuito que se muestra en la Fig. 6.11.

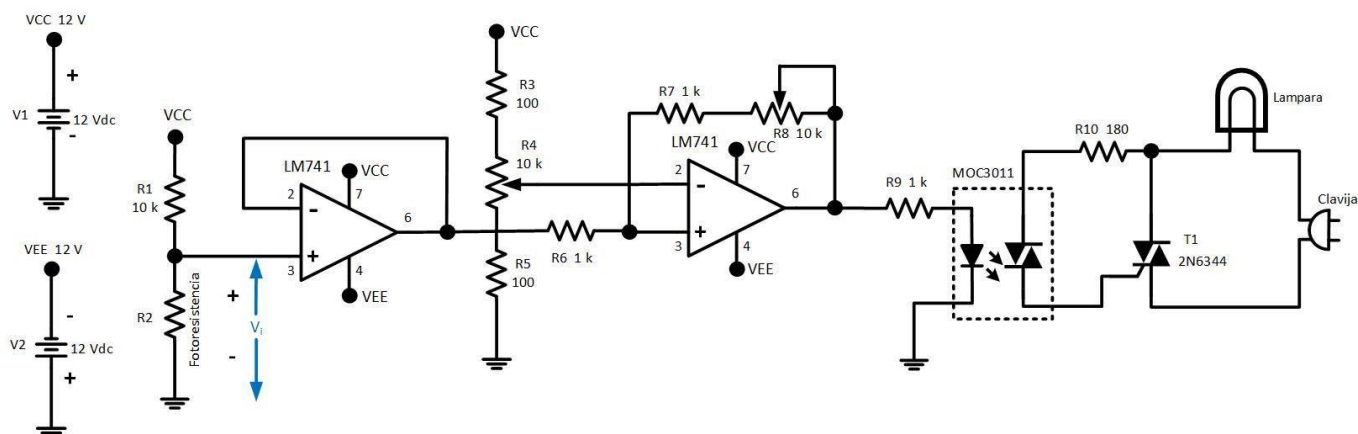


Fig. 6.11. Circuito de Aplicación de Comparador de Nivel con Histéresis.

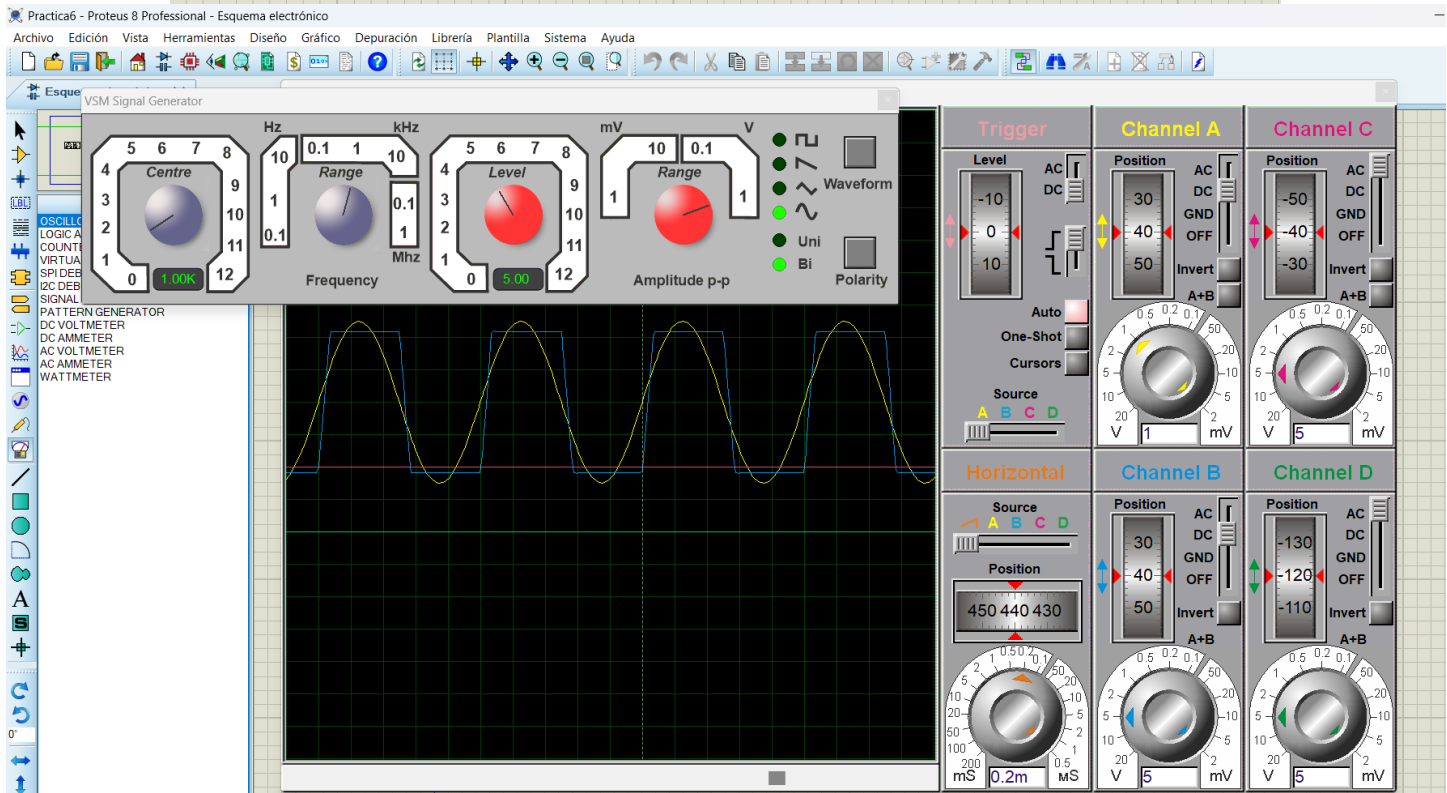
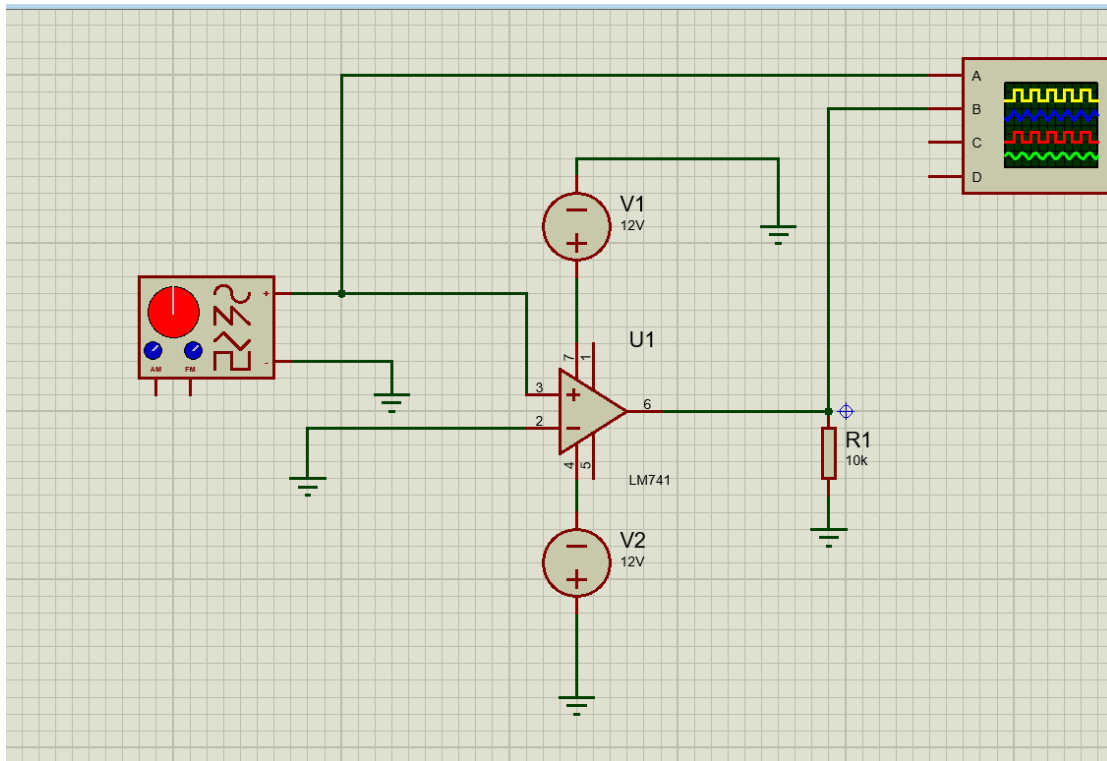
Ajustar los potenciómetros hasta que el foco encienda y se apague de una manera apropiada y de forma que no existan oscilaciones (ruido) en el foco, posteriormente determinar los valores solicitados en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Valores del Comparador con histéresis.

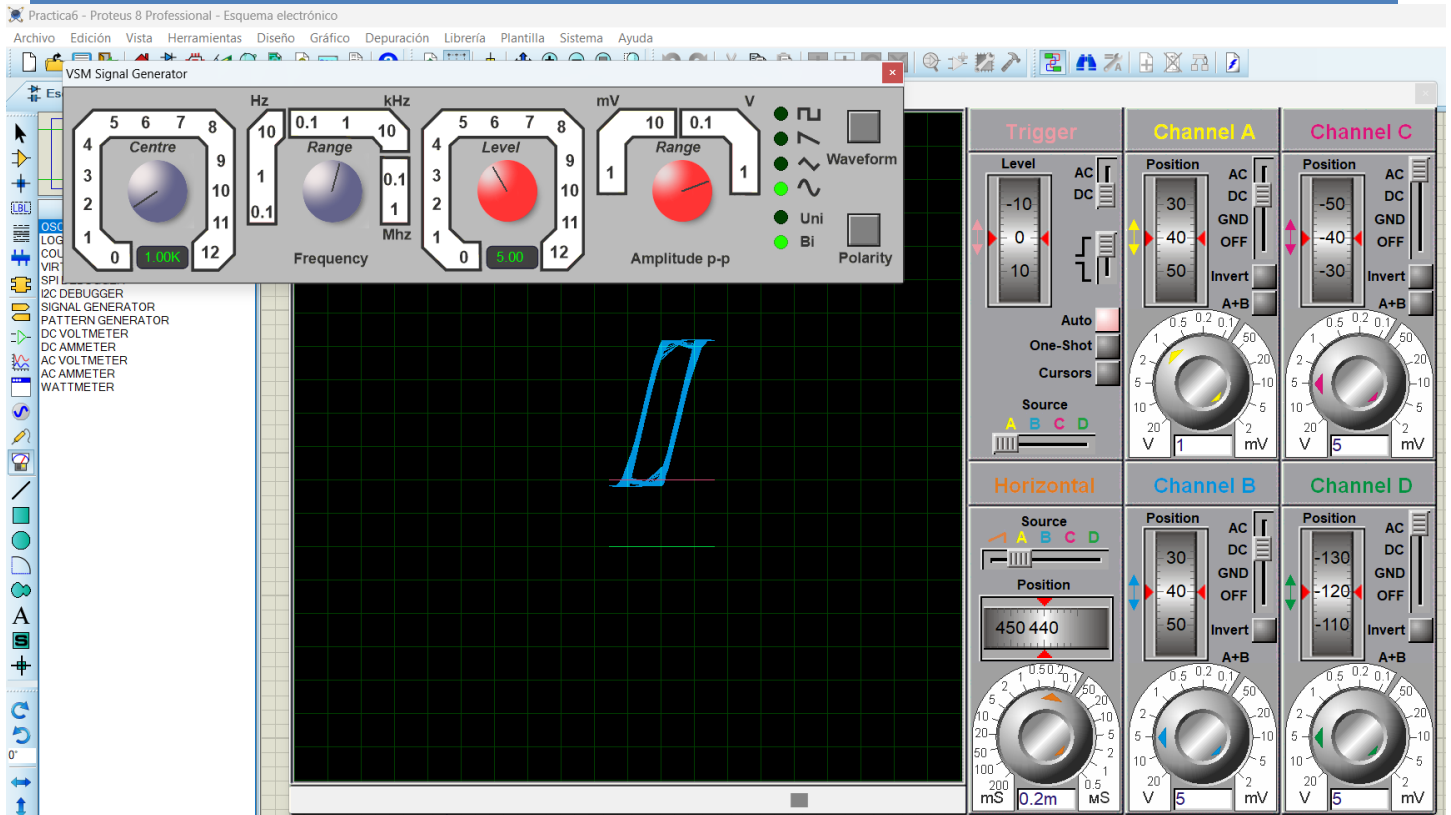
Dato	Valor
Voltaje de Referencia ( $V_{REF}$ )	3.92 V
Valor de la resistencia nR (Fuente de alimentación apagada)	5.8K $\Omega$
Tipo de Comparador	No inversor
Voltaje de saturación Positivo ( $+V_{SAT}$ )	10.27 V
Voltaje de saturación Negativo ( $-V_{SAT}$ )	-11.19 V

## 4. SIMULACIONES

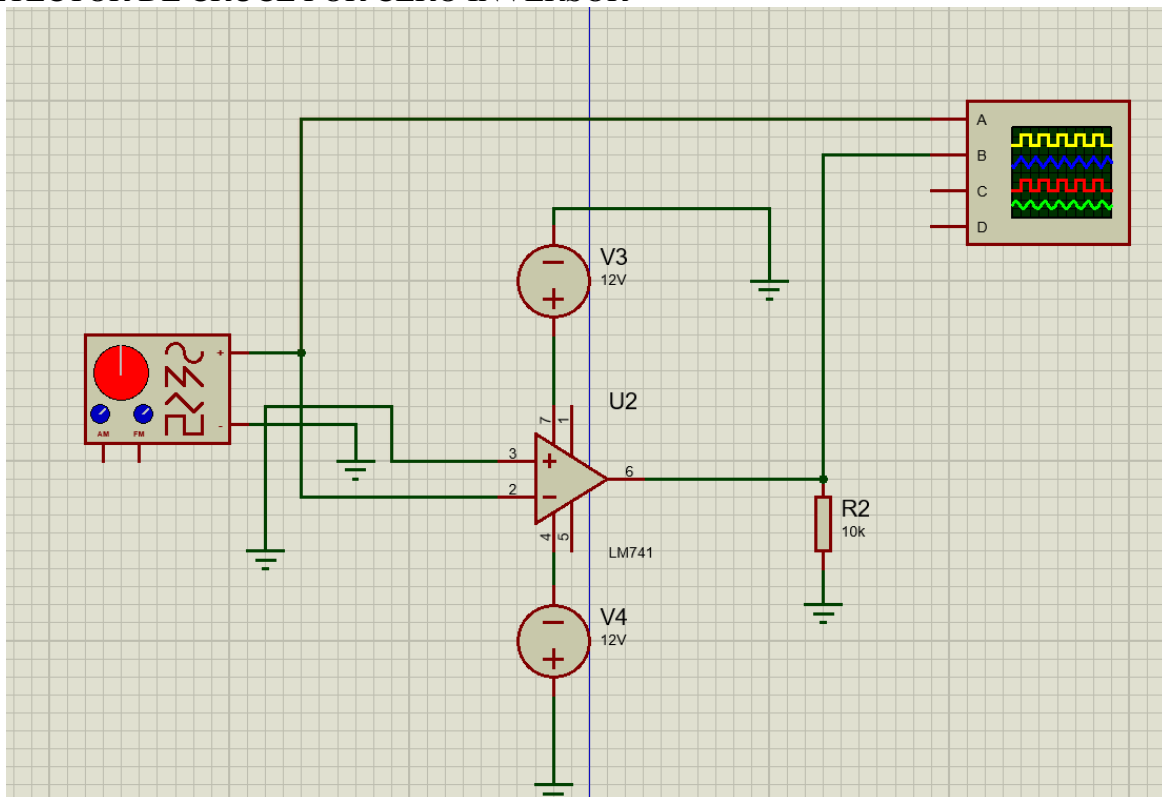
## DETECTOR DE CRUCE POR CERO NO INVERSOR



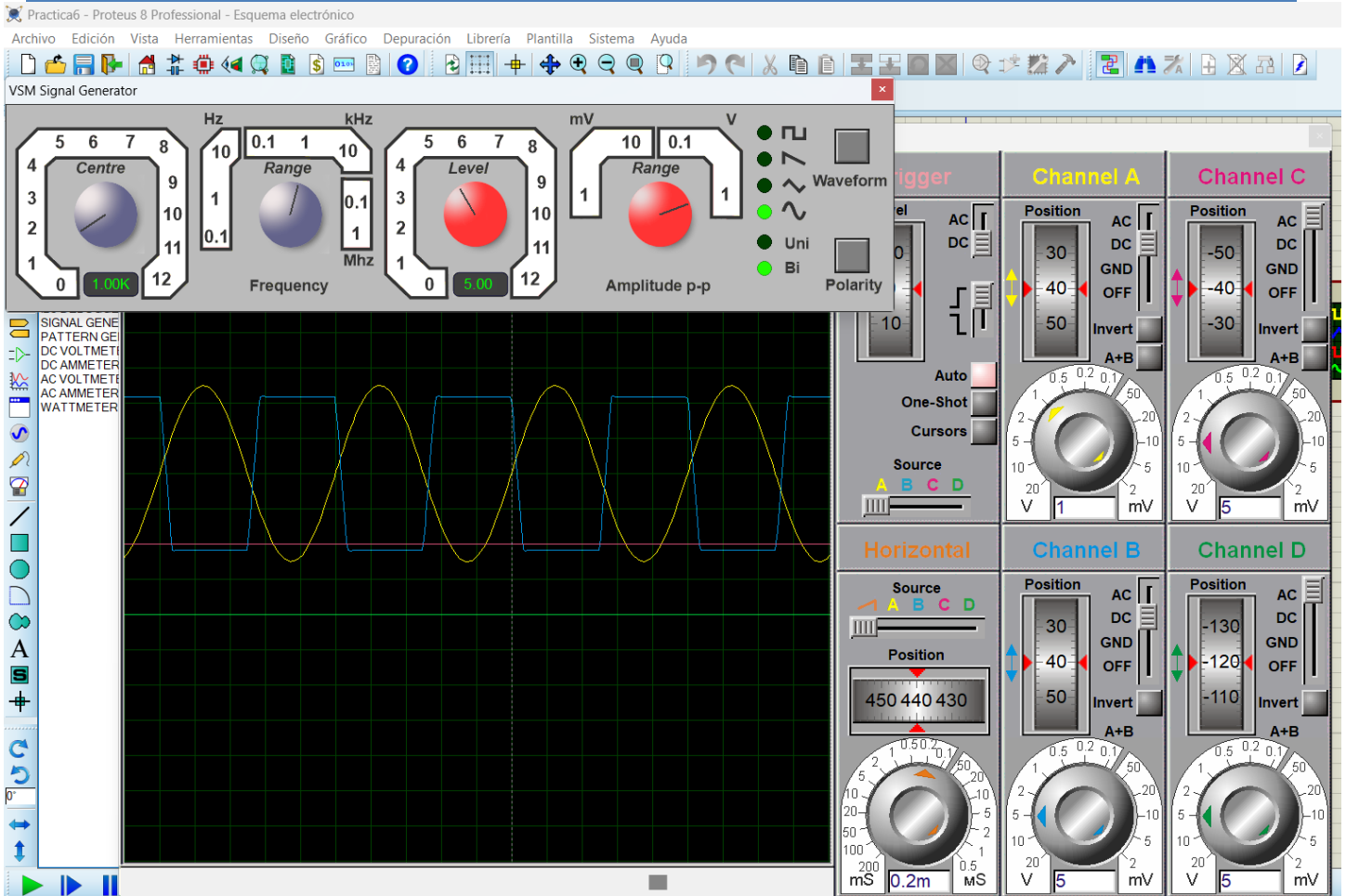
## PRÁCTICA 6



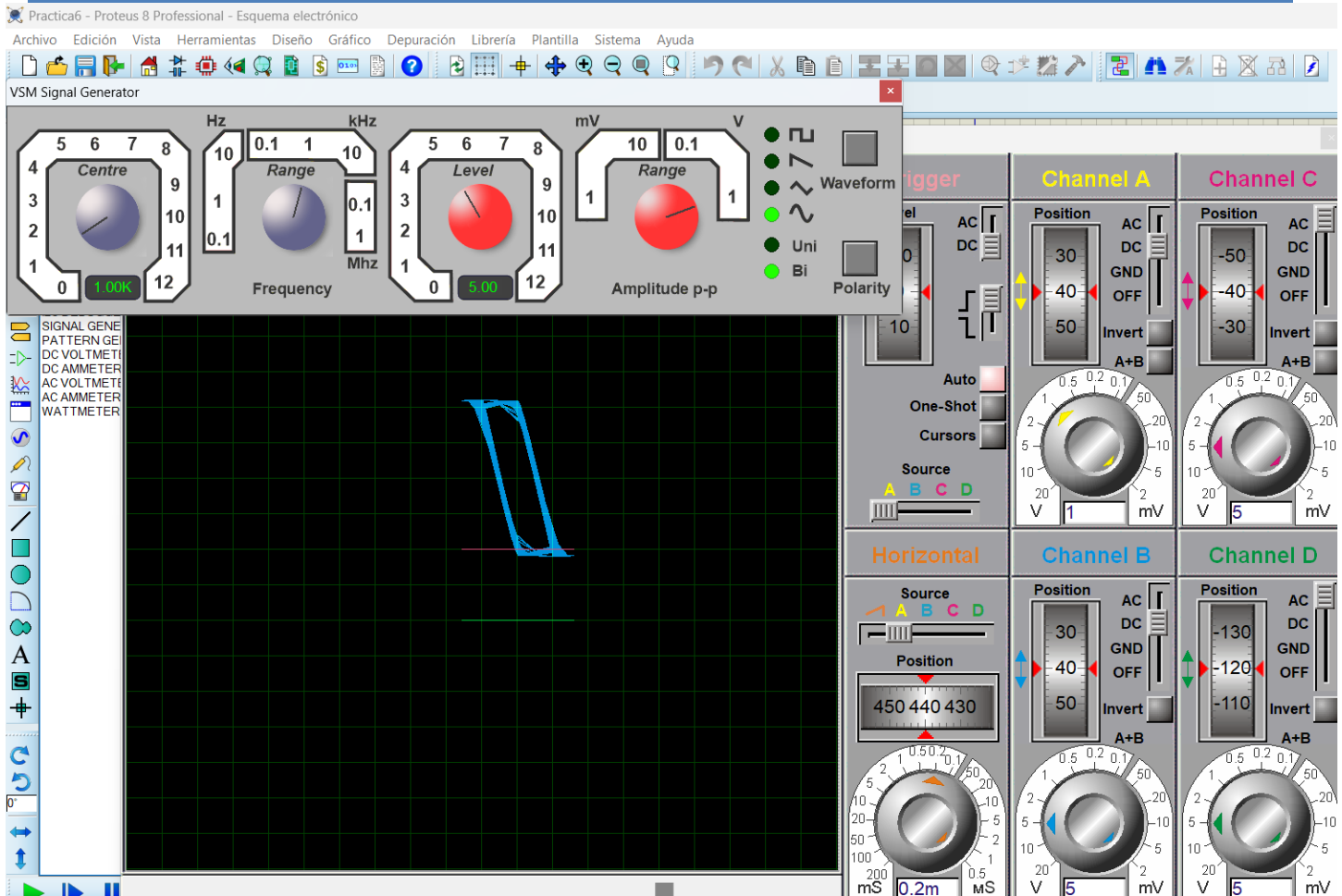
### DETECTOR DE CRUCE POR CERO INVERSOR



# PRÁCTICA 6

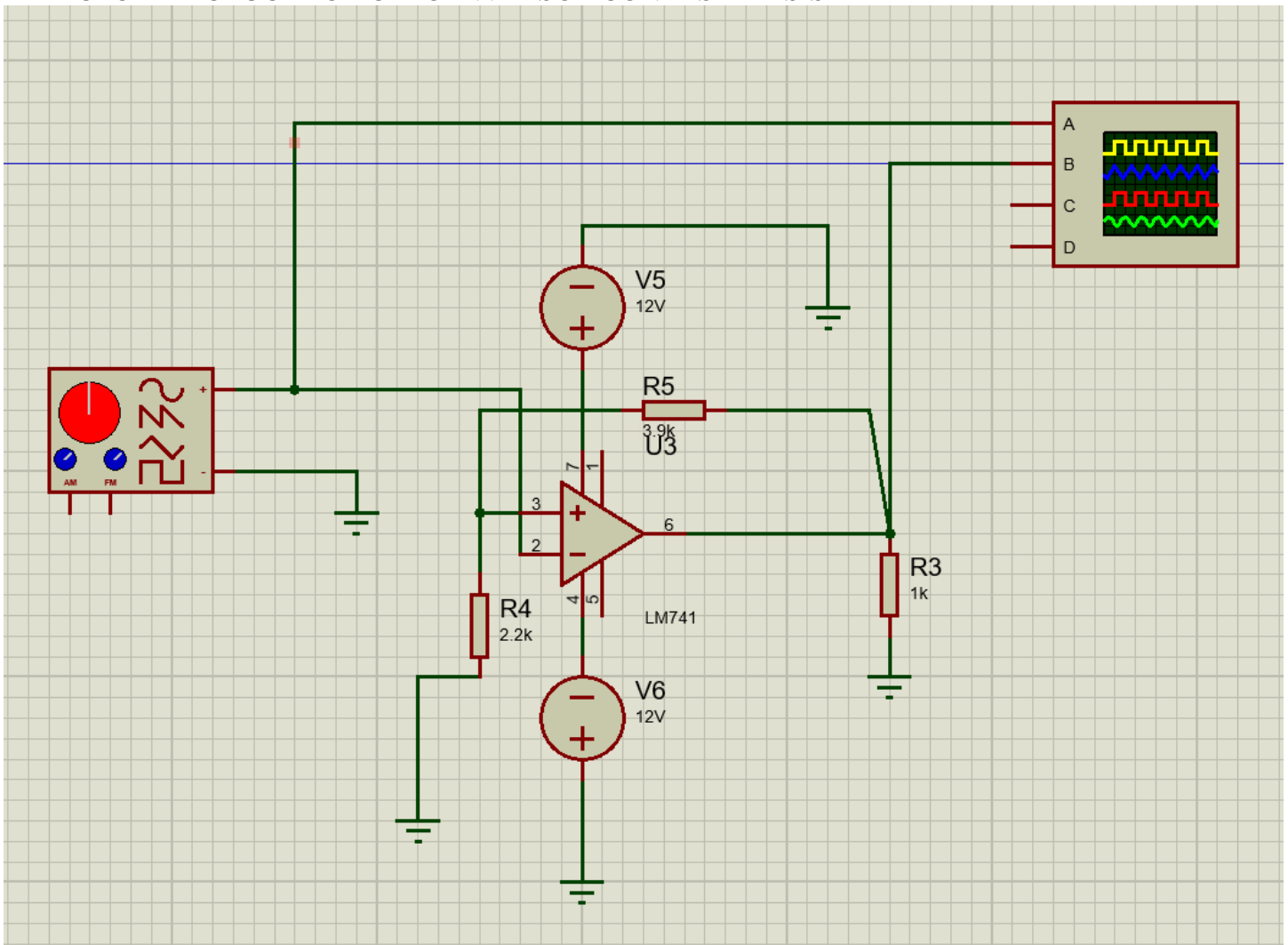


## PRÁCTICA 6





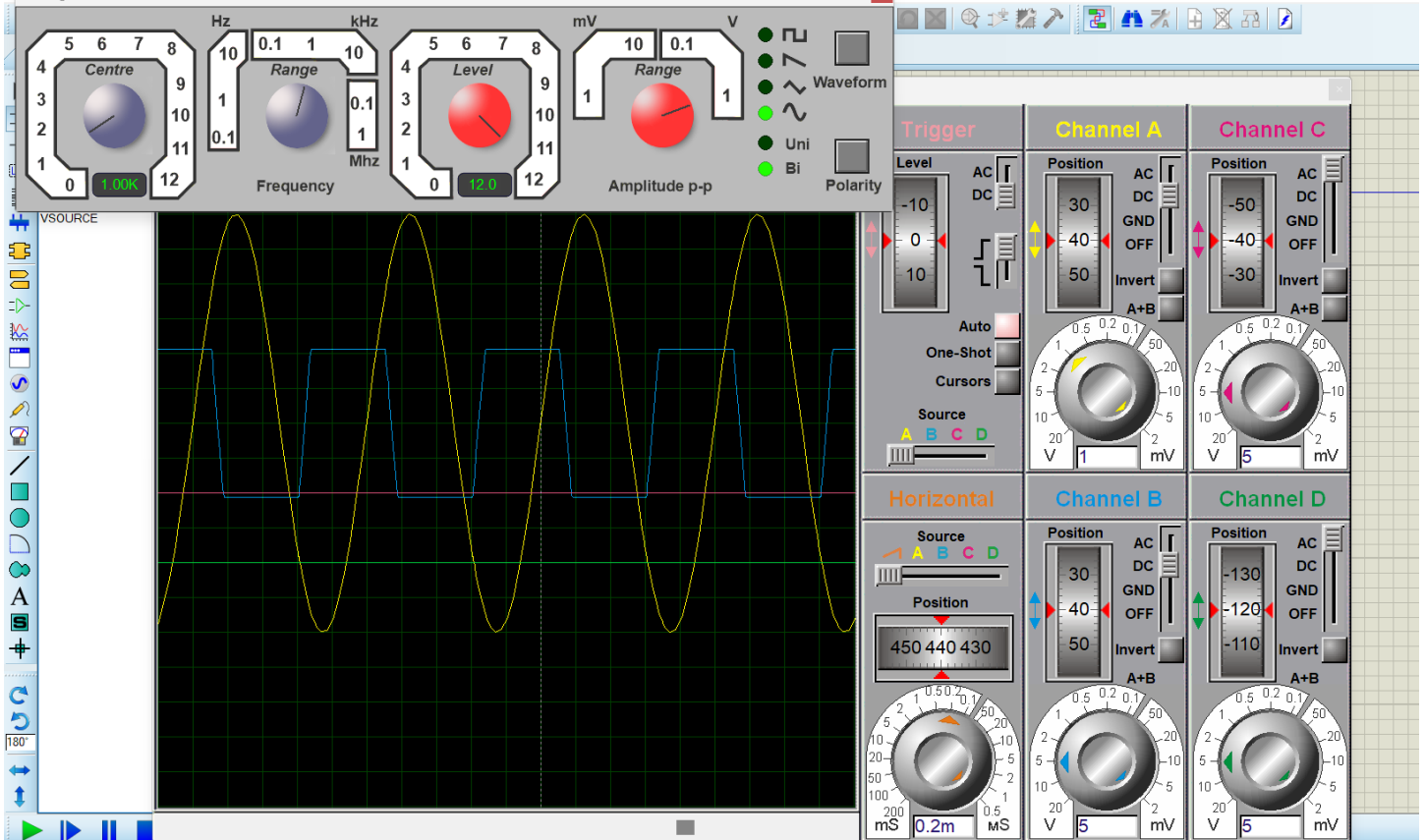
## DETECTOR DE CRUCE POR CERO INVERSOR CON HISTERESIS



# PRÁCTICA 6

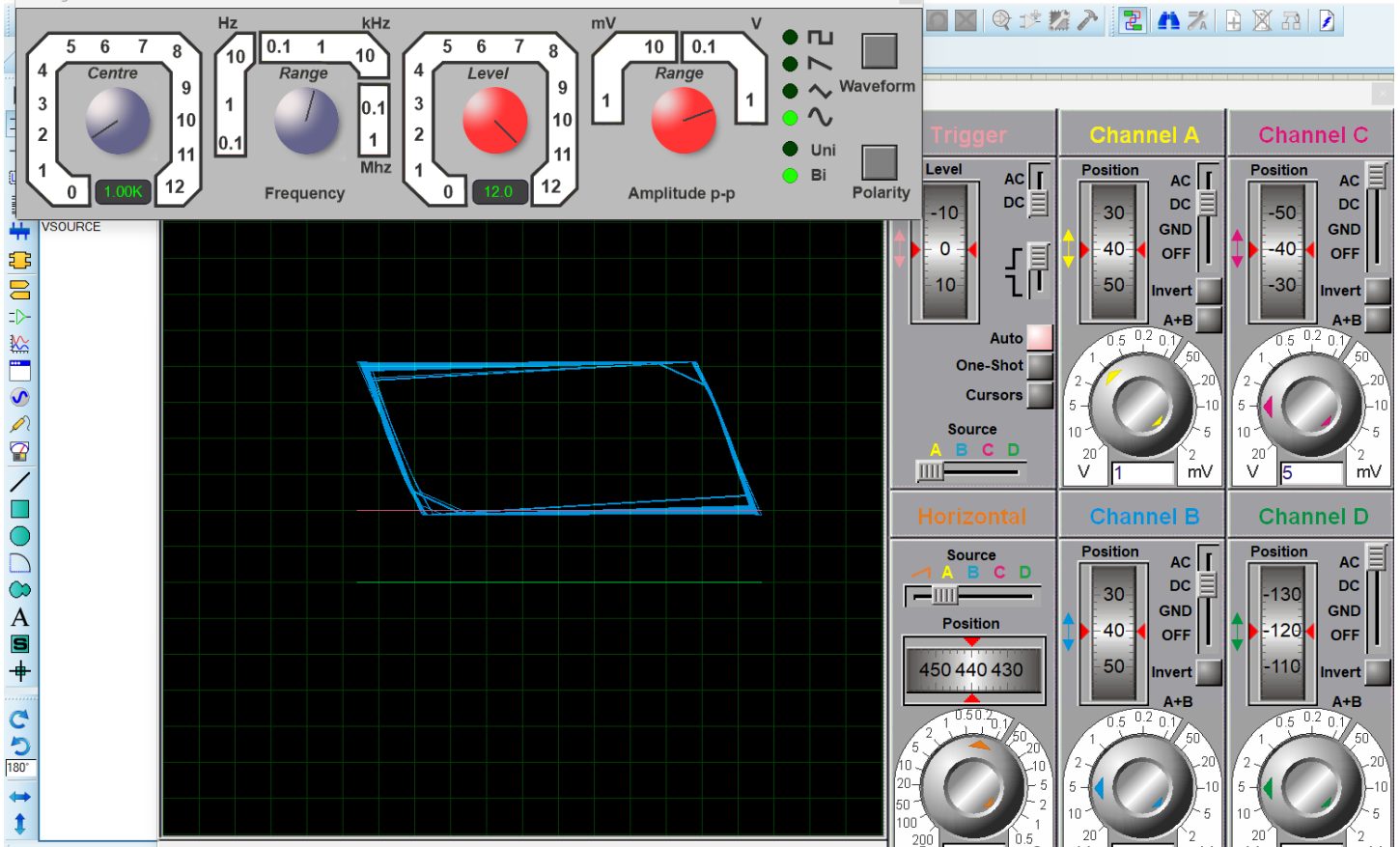
Practica6 - Proteus 8 Professional - Esquema electrónico

VSM Signal Generator

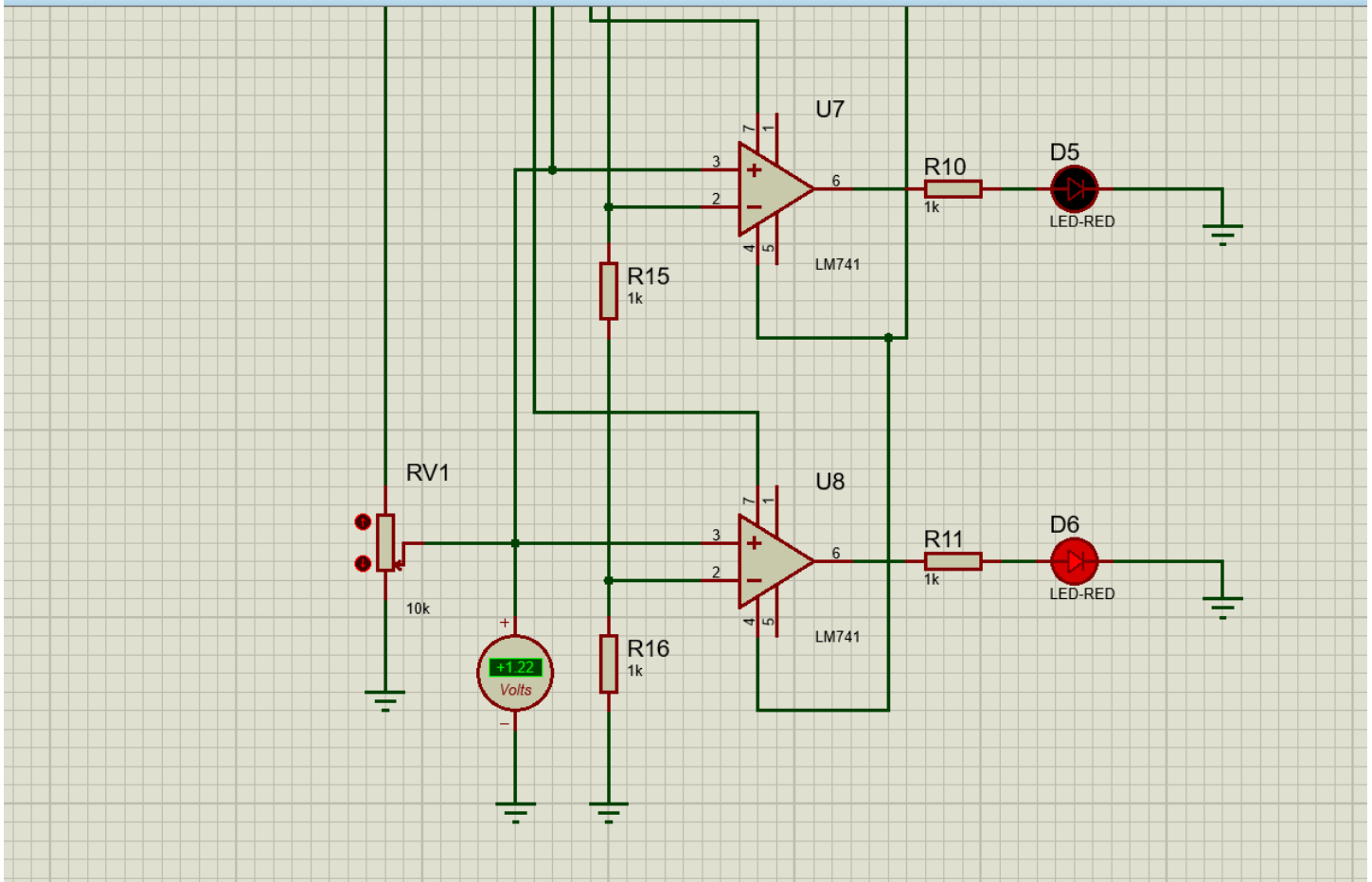


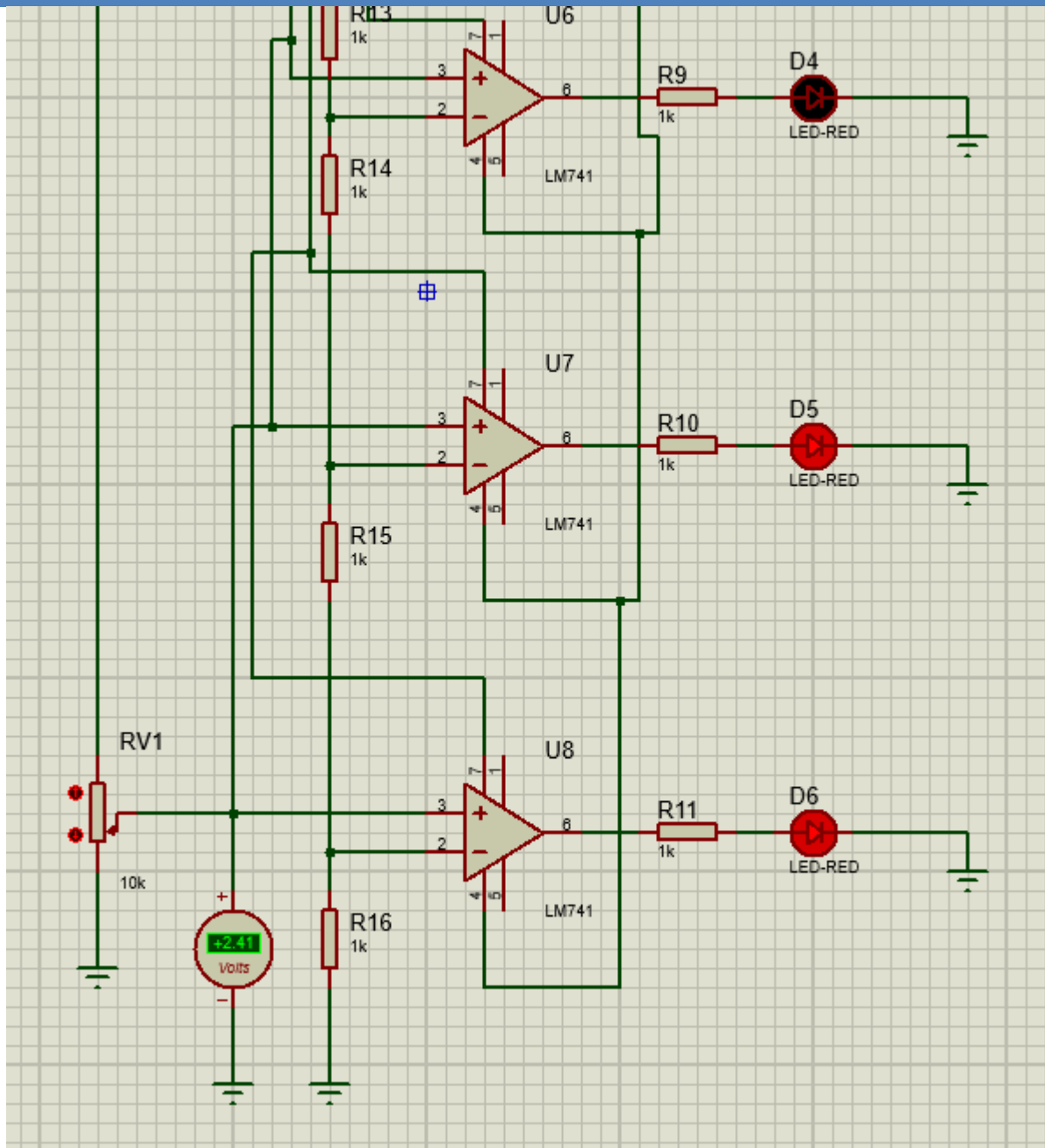
Practica6 - Proteus 8 Professional - Esquema electrónico

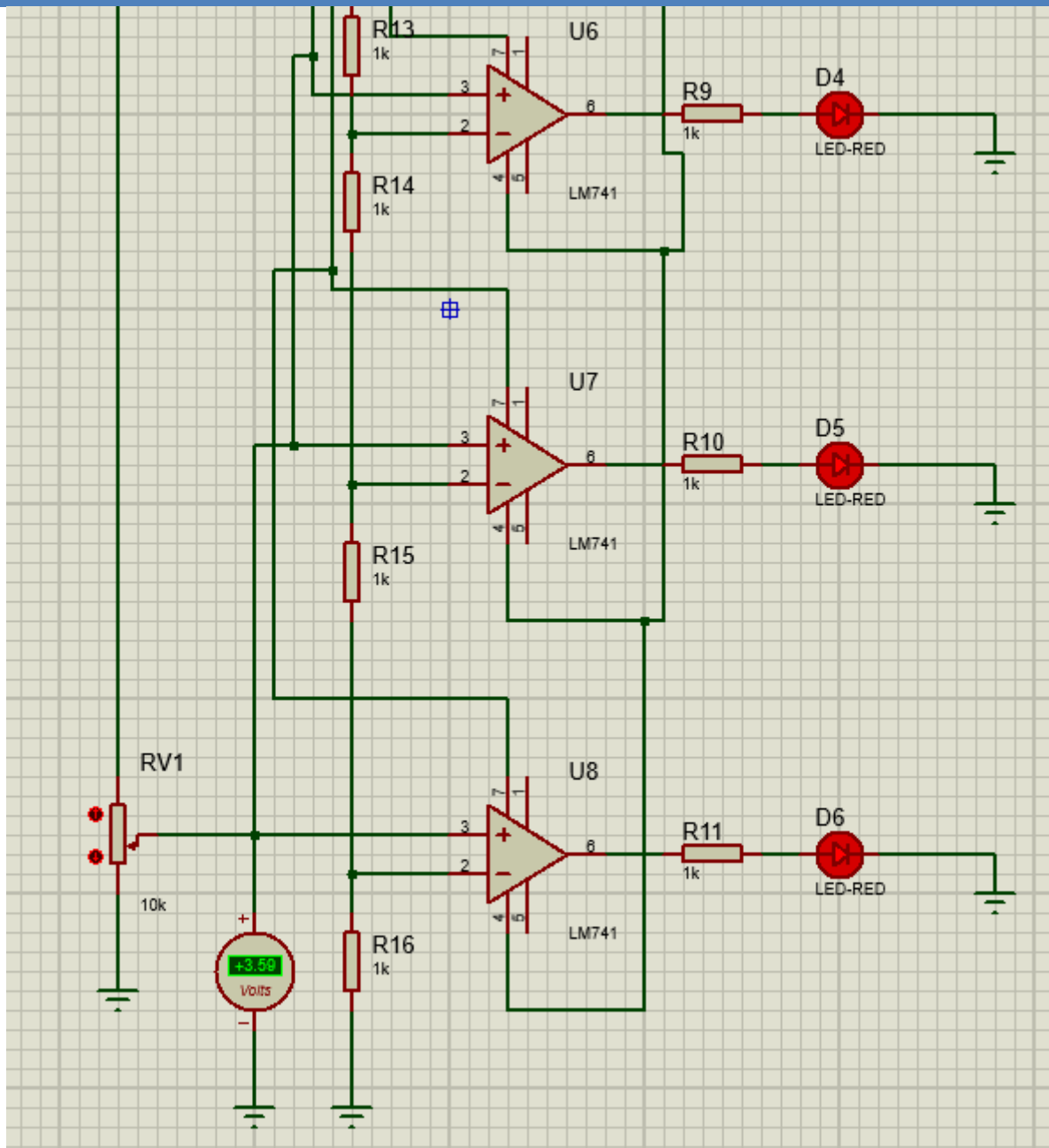
VSM Signal Generator

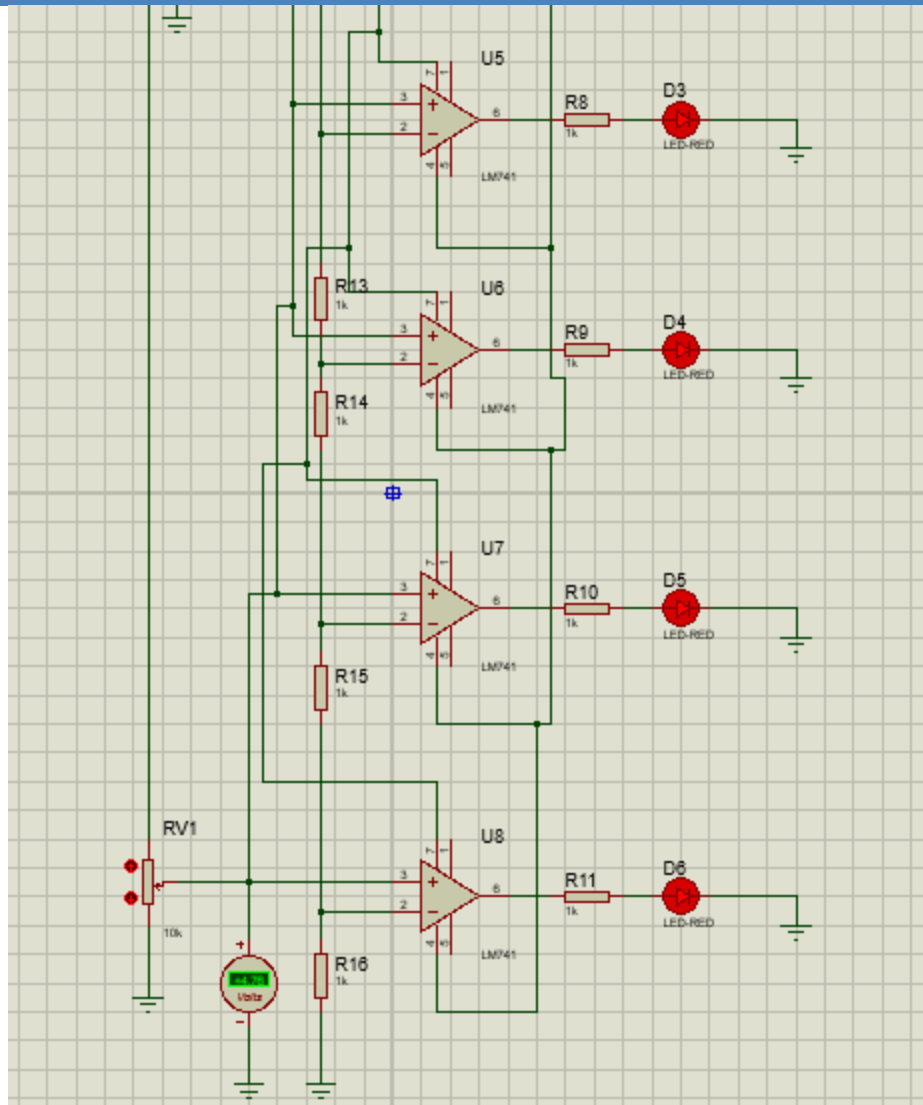


## APLICACIONES DEL DETECTOR DE NIVEL DE VOLTAJE

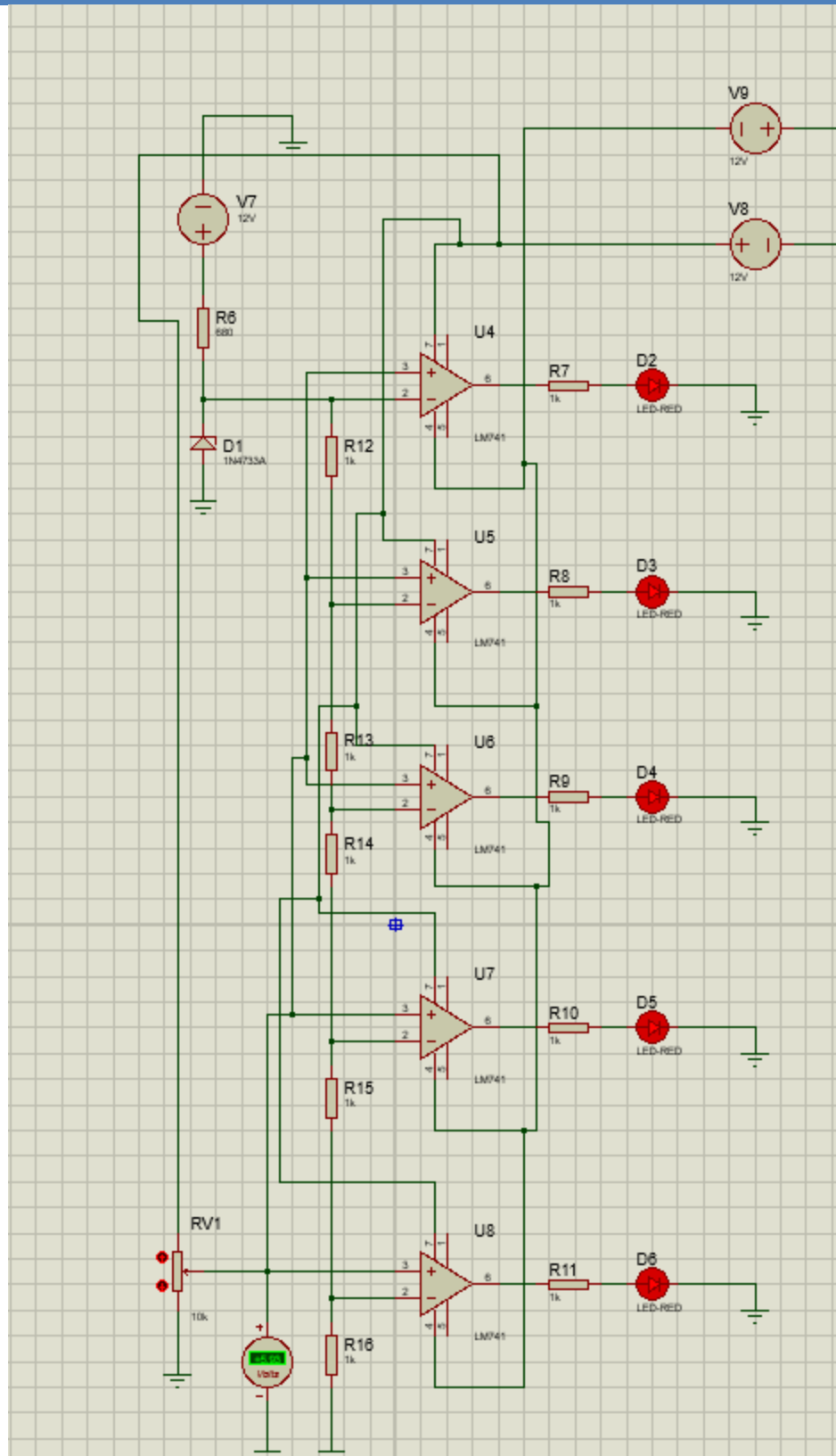












## 5. ANÁLISIS TEÓRICO

Detector de cruce por cero inversor  
con histéresis.

$$+V_{sat} = V_{cc} - 1V = 11V$$

$$-V_{sat} = -V_{cc} + 1.5V = -10.5V$$

Dado  $R_1 = 3.9k\Omega$ ;  $R_2 = 2.2k\Omega$

$$V_{UT} = \frac{+V_{sat}(R_2)}{R_1 + R_2} = \frac{(11V)(2.2k\Omega)}{2.2k\Omega + 3.9k\Omega} = 3.96V$$

$$V_{LT} = \frac{-V_{sat}(R_2)}{R_1 + R_2} = \frac{(-10.5V)(2.2k\Omega)}{2.2k\Omega + 3.9k\Omega} = -3.78V$$

$$V_H = \frac{[+V_{sat}] - [-V_{sat}]}{R_1 + R_2} R_2 = \frac{[(11V) - (-10.5V)](2.2k\Omega)}{2.2k\Omega + 3.9k\Omega} = 7.75V$$

Comparador de nivel de voltaje

Dado que en el LED5  $V_{ref} = 5.1V$

$$\text{En el LED1: } V_{ref} = \frac{(5.1V)(1k\Omega)}{5k\Omega} = 1.02V$$

$$\text{En el LED2: } V_{ref} = \frac{(5.1V)(2k\Omega)}{5k\Omega} = 2.04V$$

$$\text{En el LED3: } V_{ref} = \frac{(5.1V)(3k\Omega)}{5k\Omega} = 3.06V$$

$$\text{En el LED4: } V_{ref} = \frac{(5.1V)(1k\Omega)}{5k\Omega} = 4.08V$$

## Detector de cruce por cero inversor con histéresis.

$$+V_{sat} = V_{cc} - 1V = 11V$$

$$-V_{sat} = -V_{cc} + 1.5V = -10.5V$$

Dado  $R_1 = 3.9k\Omega$ ;  $R_2 = 2.2k\Omega$

$$V_{UT} = \frac{+V_{sat}(R_2)}{R_1 + R_2} = \frac{(11V)(2.2k\Omega)}{2.2k\Omega + 3.9k\Omega} = 3.96V$$

$$V_{LT} = \frac{-V_{sat}(R_2)}{R_1 + R_2} = \frac{(-10.5V)(2.2k\Omega)}{2.2k\Omega + 3.9k\Omega} = -3.78V$$

$$V_H = \frac{[+V_{sat}] - [-V_{sat}]}{R_1 + R_2} = \frac{[(11V) - (-10.5V)](2.2k\Omega)}{2.2k\Omega + 3.9k\Omega} = 7.75V$$

## Comparador de nivel de voltaje

Dado que en el LED5  $V_{ref} = 5.1V$

$$\text{En el LED1: } V_{ref} = \frac{(5.1V)(1k\Omega)}{5k\Omega} = 1.02V$$

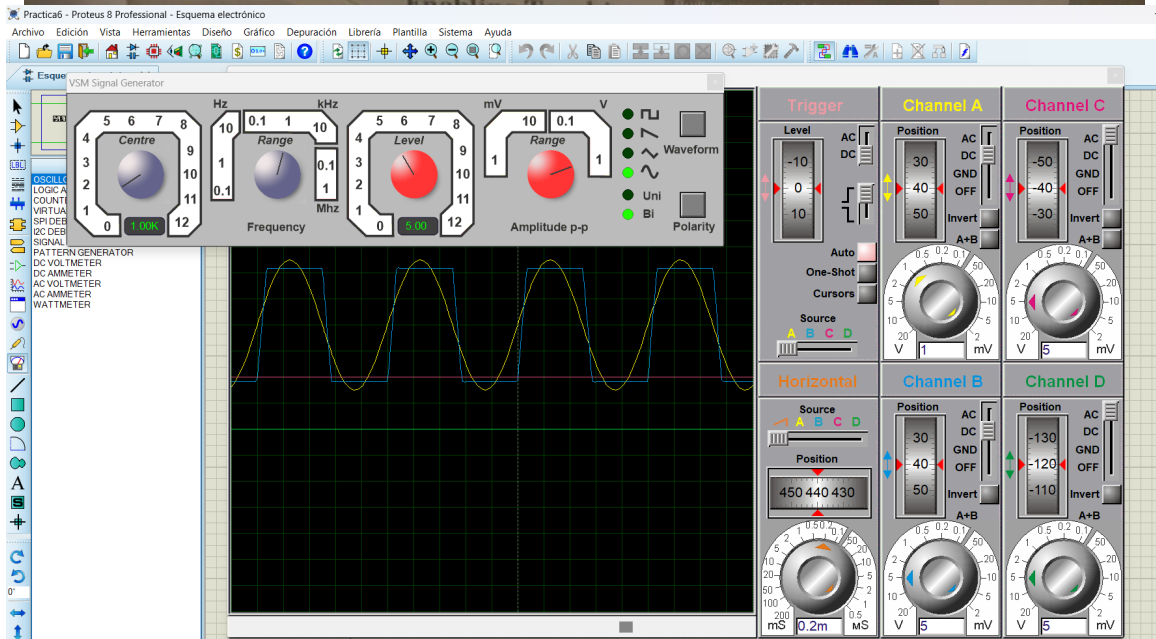
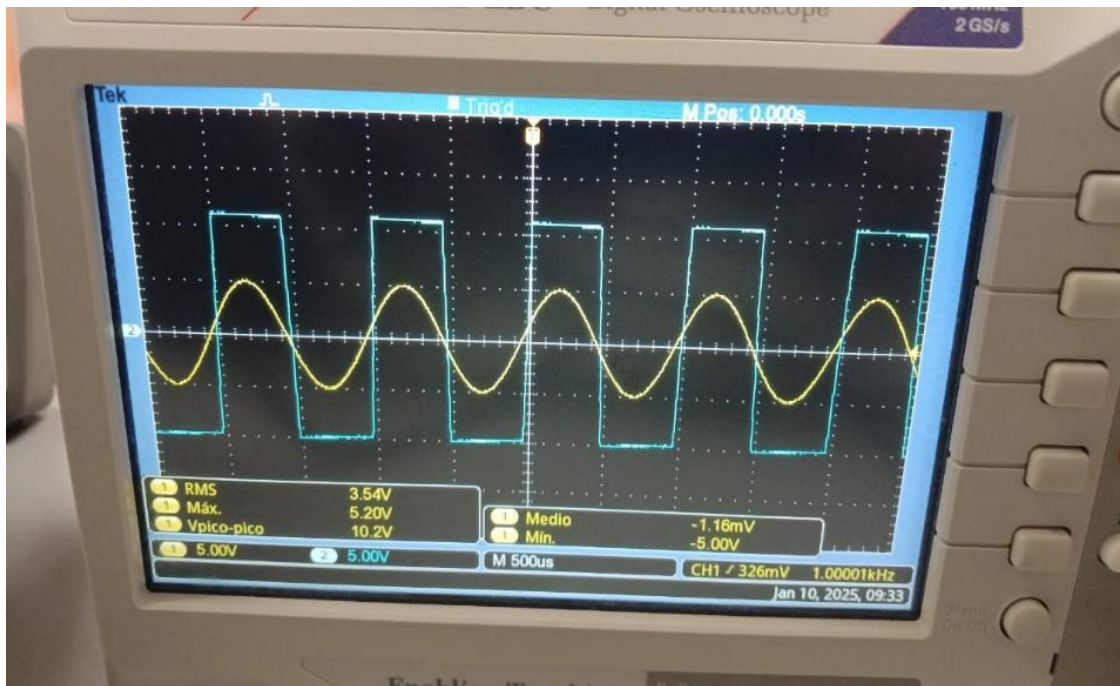
$$\text{En el LED2: } V_{ref} = \frac{(5.1V)(2k\Omega)}{5k\Omega} = 2.04V$$

$$\text{En el LED3: } V_{ref} = \frac{(5.1V)(3k\Omega)}{5k\Omega} = 3.06V$$

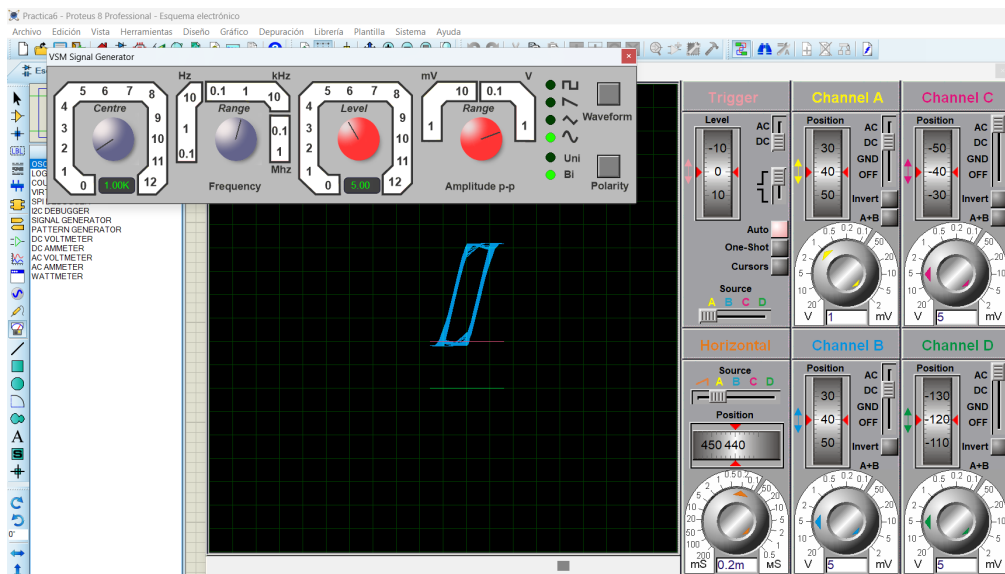
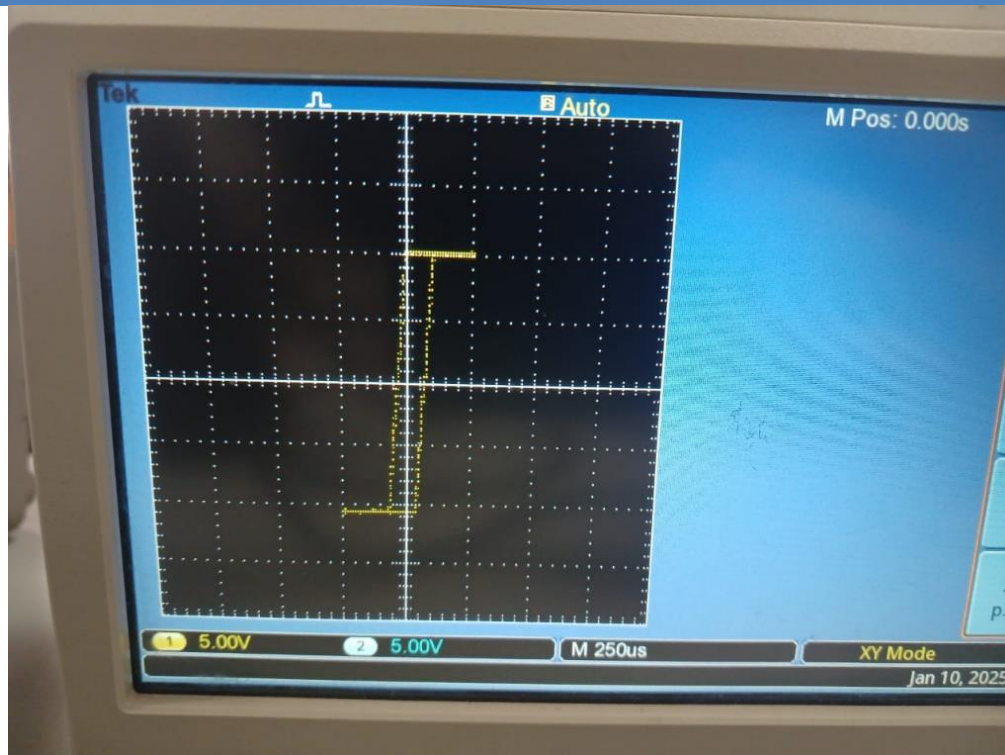
$$\text{En el LED4: } V_{ref} = \frac{(5.1V)(1k\Omega)}{5k\Omega} = 4.08V$$

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Detector de Cruce por Cero Inversor con Histéresis

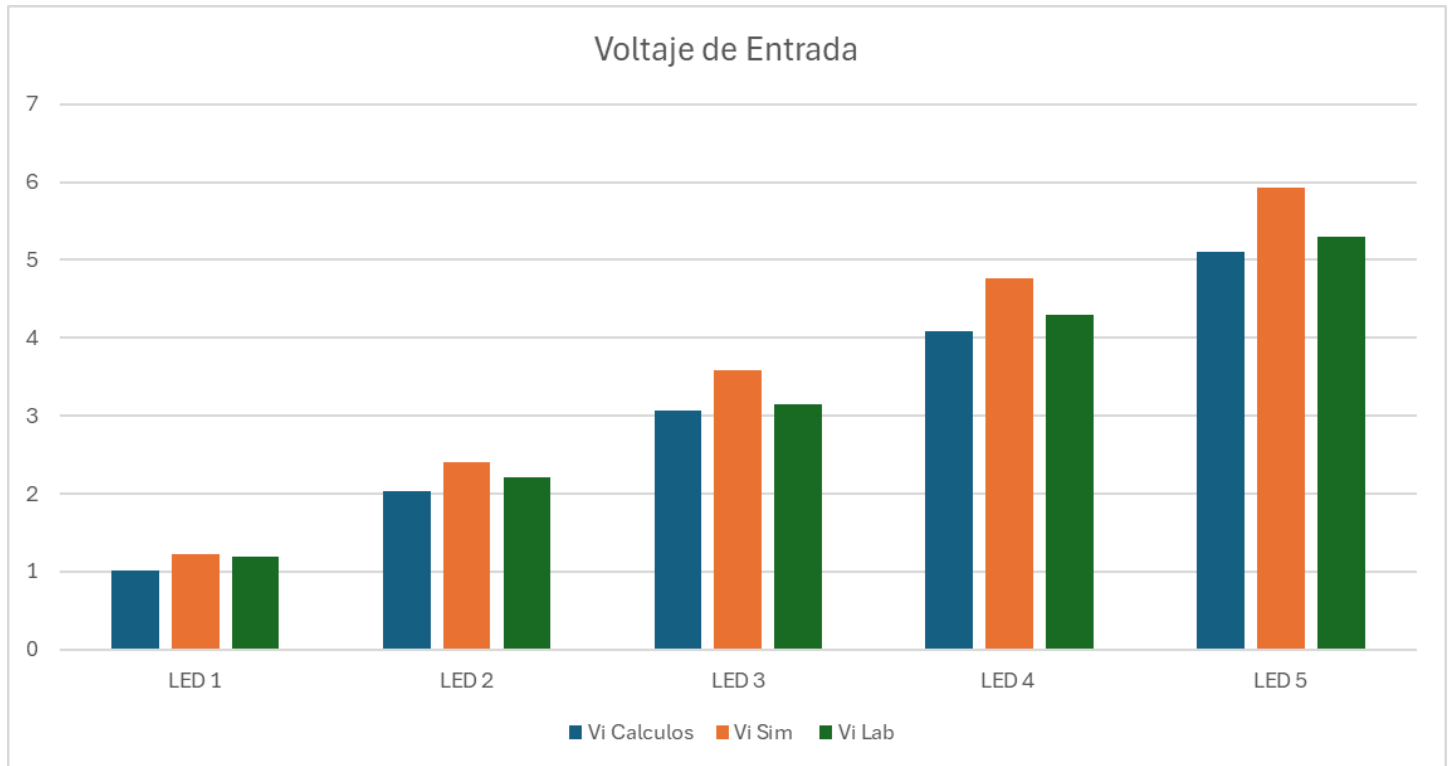


Podemos notar que, tanto en la simulación como en lo experimental, son bastante parecidos las gráficas en el osciloscopio, la única diferencia notoria es en el canal 1 (señal de entrada) la cual es más baja de lo que se esperaba y de lo que obtuvimos en el laboratorio.



Si nos fijamos en los graficos sobre su función de transferencia en los osciloscopios, podemos notar que los comportamientos son bastante parecidos entre sí. Solo que en la parte simulada, las “líneas” de hasta abajo son más cortas que en la parte experimental, dándole más forma a la de un rectángulo normal a comparación de la grafica del laboratorio que tiene forma de una “Z” pero al revés y estirada.

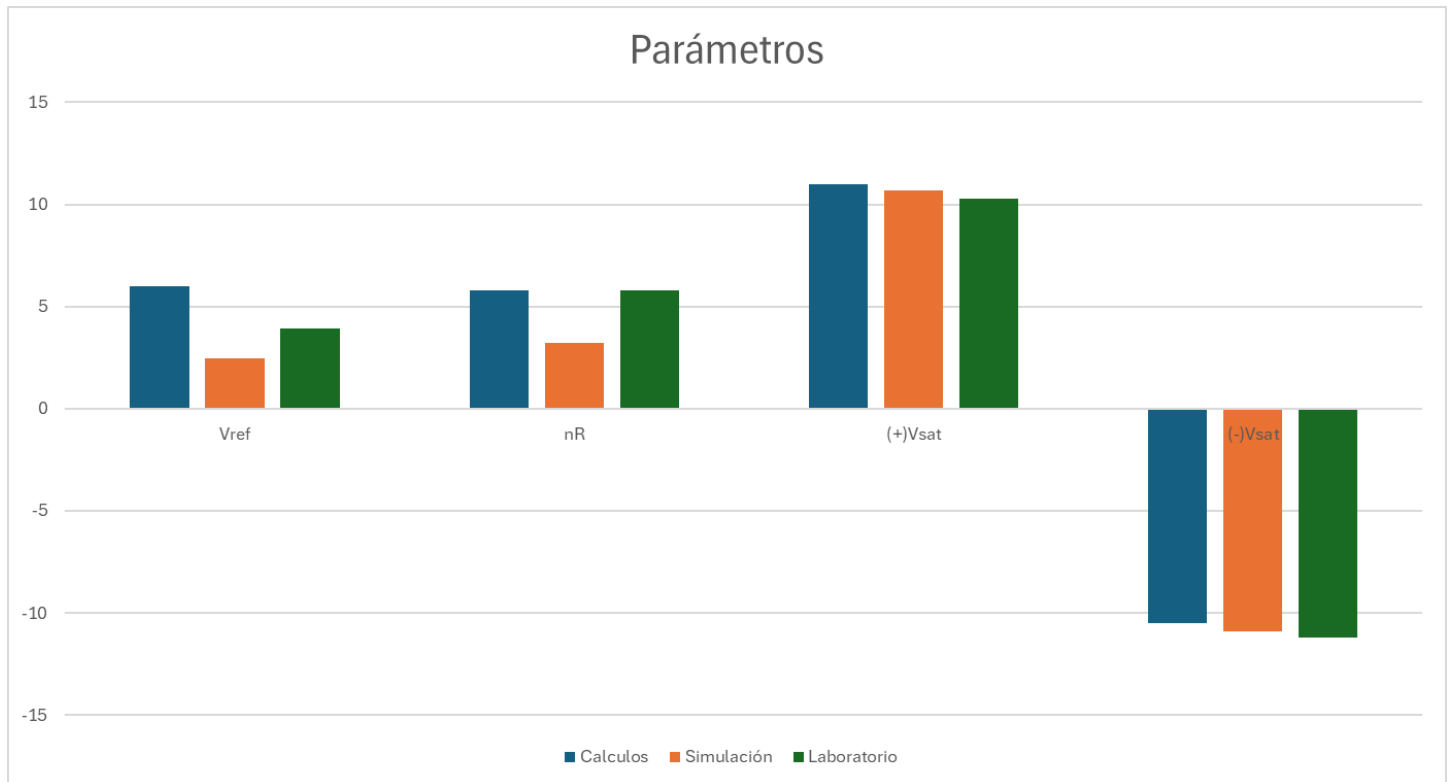
## Comparador de nivel de voltaje



Podemos notar a primera vista que en ningún LED, el voltaje es exactamente igual en los 3 contextos, sin embargo, hay ocasiones que comparten un valor igual o que solo varía por centésimas. Por ejemplo, en el LED 1, el voltaje de entrada es casi exactamente igual entre el valor simulado y el valor de laboratorio. Mientras que, por otro lado, pasa algo igual en el LED 3 pero entre el valor calculado y el valor de laboratorio. En un panorama más general notamos que el valor en el voltaje de entrada simulado es el mayor a comparación del calculado y el experimental, lo que nos da a entender que pueden ser estos los valores más acertados debido a que en el laboratorio pudo haber una pequeña alteración con el ambiente y en los cálculos un error de toma de decimales.



## Comparador de Nivel de Voltaje con Histéresis



En los parámetros de este circuito podemos notar una variación bastante diferente entre los tres resultados a excepción del +Vsat y -Vsat, estos parámetros tuvieron valores bastante aproximados entre sí.

Mientras que, por los otros tres parámetros, notamos que varían mucho entre sí, dando a entender que pudo haber un error en los cálculos primordialmente en el Vref ya que este es el más alejado de los otros dos valores obtenidos. Por otra parte, en la nR puede haberse dado un error de medición o de selección de resistor en el simulador, lo que nos dio una resistencia bastante baja a comparación de los resultados calculados y experimentales.

## 7. CUESTIONARIO

1. **¿Qué ventajas presenta obtener información del cruce por cero de una señal?**

Permite detectar cambios de polaridad, sincronizar sistemas eléctricos, reducir errores en mediciones de tiempo, facilitar el procesamiento digital de señales periódicas y diseñar filtros o detectores de fase.

2. **Mencionar 5 aplicaciones en las que se utilizan los comparadores**

Los comparadores se utilizan en detectores de nivel de voltaje, convertidores analógicos a digitales (ADC), osciladores de relajación, sistemas de control de motores y circuitos de protección contra sobretensión.

3. **¿Cuál es el máximo y mínimo voltaje de salida en los circuitos comparadores?**

El máximo voltaje de salida es el voltaje de alimentación positivo (+Vcc), y el mínimo es el voltaje de alimentación negativo o tierra (-Vcc o 0V).

4. **¿En que condiciones el voltaje de salida puede ser cero en un comparador?**

El voltaje de salida puede ser cero cuando el voltaje de entrada inversora es igual al voltaje de entrada no inversora o si la referencia establecida está a tierra.

5. **¿Qué diferencia existe entre un comparador simple y en un comparador con histéresis?**

Un comparador simple cambia su salida al menor cambio en las entradas, mientras que un comparador con histéresis introduce una zona muerta para evitar oscilaciones provocadas por ruido o señales pequeñas.

6. **¿Cuál es el objetivo del seguidor de voltaje en el circuito de la aplicación del detector de nivel de voltaje con histéresis?**

El objetivo es estabilizar la referencia de voltaje, proporcionar aislamiento entre etapas del circuito y evitar que la fuente consuma corriente directamente.

## 8. CONCLUSIONES INDIVIDUALES

### **Bernal Ramírez Brian Ricardo**

En esta práctica pude poner en práctica mis conocimientos teóricos acerca de los amplificadores operacionales, así como también comprender mas a fondo como se comportan en diferentes configuraciones y que aplicaciones pueden tener, en particular destaco mucho esta practica por los circuitos del foco y los leds, son circuitos didácticos que te hacen comprender mejor el funcionamiento de los amplificadores, también fue de suma importancia visualizar como se comportaban estos circuitos a través del osciloscopio.

### **Escalona Zuñiga Juan Carlos**

Después de realizar la práctica, puedo concluir que trabajar con configuraciones especiales de amplificadores operacionales, como comparadores simples y con histéresis, me permitió entender mejor su funcionamiento y aplicaciones las cuales vimos en clase, aunque en clase me pareció complicado, en laboratorio más porque no salió a la primera el circuito del foco y me llevó a quitarme la errónea idea de que seguramente es mucho más fácil la práctica que un ejercicio como de examen, ambos tienen su dificultad. Observar las señales en el osciloscopio y analizar las funciones de transferencia me sirvió para identificar las diferencias entre los distintos tipos de comparadores y cómo influyen los parámetros del circuito. Además, las aplicaciones prácticas, como el detector de nivel de voltaje, me ayudaron a conectar la teoría con situaciones reales, reforzando mis conocimientos.

### **Rojas Peralta Maximiliano**

Después de realizar esta práctica, me di cuenta de que entender los amplificadores operacionales va más allá de memorizar fórmulas o configuraciones. Experimentar con los circuitos, como el del foco y los LEDs, me permitió aprender de los errores y ver cómo pequeñas variaciones pueden impactar el resultado. Usar el osciloscopio fue clave para visualizar y comprender realmente lo que ocurre en el circuito. Creo que este tipo de prácticas son esenciales porque conectan la teoría con algo tangible, algo que puedes analizar y ajustar en tiempo real, lo que hace el aprendizaje mucho más significativo.

## 9. REFERENCIAS

Reportar las referencias que se utilizaron para reforzar el desarrollo de la práctica.