

# **Diseño de un sistema de control para un robot aspiradora CONGA**



**Jesús Santos González de Aledo - 18326**  
**Carlos Manuel Vaquero Rodrigo - 18349**  
**Álvaro Morales Sánchez - 18240**

## Contenido

1.	Introducción .....	2
2.	Sensor HS-SR04.....	2
3.	Modelado sensores mediante optoacoplador.....	2
4.	Etapas de acondicionamiento.....	3
5.	Ruido y filtrado sensor 1. ....	4
	• Adición de ruido.....	4
	• Filtrado de ruido.....	5
6.	Ruido y filtrado sensor 2. ....	7
7.	Ruido y filtrado sensor 3. ....	9
8.	Conversión a corriente continua.....	10
9.	Cambio en las estructuras de filtrado. ....	11
9.1.	Corrección de etapa filtrado en sensor 1. ....	12
	• Adición de ruido.....	12
	• Sección de filtrado.....	12
9.2.	Corrección de etapa filtrado en sensor 3. ....	14
10.	Lógica de control.....	15
11.	Motores .....	18
12.	Pruebas prácticas.....	21
	• CASO 1. Tres sensores alejados de cualquier objeto. ....	21
	• CASO 2. Sensor 2 cercano a un objeto. ....	22
	• CASO 3. Tres sensores detectan cercanía a algún objeto.....	23
13.	Resultados y conclusiones.....	23
	Referencias .....	24
	ANEXO 1. Elección de componentes para el circuito real. ....	25
	• Elección de amplificadores operacionales: Acondicionamiento, filtrado y paso a continua, y tensiones de referencia, y lógica de control. LT 1352. ....	25
	• Elección de amplificadores operacionales: Comparadores. ....	25
	• Elección de diodo Zener.....	25
	• Elección de diodos .....	26
	• Elección de transistores.....	26

## 1. Introducción

En este trabajo se va a diseñar un circuito de control para un robot aspiradora CONGA. Este robot está dotado de tres sensores de distancia HS-SR04, que generarán la señal de entrada en función de la distancia de cada sensor. El objeto de este trabajo es diseñar un sistema que sea capaz de acondicionar y filtrar la señal de entrada, e implementar una lógica capaz de controlar el robot en función de dicha señal.

## 2. Sensor HS-SR04.

El robot cuenta, como se ha mencionado, con 3 sensores HS-SR04 medidores de distancia. El sensor de ultrasonidos HS-SR04 opera de la siguiente manera:

### 1. Generación del pulso de trigger (disparo).

### 2. Emisión del pulso ultrasónico.

**3. Recepción del eco ultrasónico:** Mientras las ondas ultrasónicas viajan, si encuentran un objeto en su camino, parte de la energía de estas ondas es reflejada hacia el sensor. El sensor tiene un receptor ultrasónico que es sensible a estas ondas reflejadas.

**4. Conversión del eco en señal eléctrica:** Cuando el receptor ultrasónico detecta el eco, convierte la energía ultrasónica reflejada en una señal eléctrica. Esta señal eléctrica tiene una amplitud y duración proporcionales a la intensidad y tiempo del eco recibido.

**5. Medición del tiempo de vuelo:** El sensor mide el tiempo transcurrido desde que envió el pulso de trigger hasta que recibió el eco reflejado. Esta medición se realiza con un temporizador interno de alta precisión.

Por lo tanto, la señal que genera el sensor es una señal de amplitud 5V, con un periodo de 50ms, y cuyo ancho de pulso en  $\mu s$  es igual a la distancia en centímetros multiplicada por 59. De esta forma, se obtienen tres señales (una por cada sensor) que contienen la información de distancia al objeto más próximo en el lado derecho, izquierdo, y frontal.

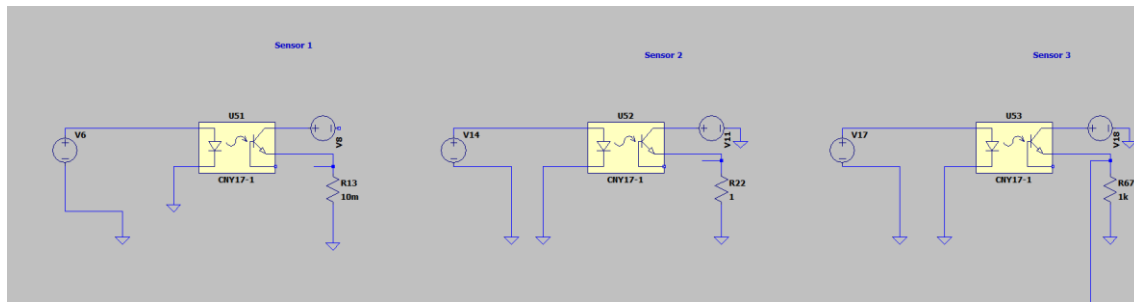
Las especificaciones técnicas de este sensor muestran en la siguiente figura [Ref. 1.]

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Corriente de reposo: < 2mA
- Corriente de trabajo: 15mA
- Rango de medición: 2cm a 450cm
- Precisión:  $\pm$  3mm
- Ángulo de apertura: 15°
- Frecuencia de ultrasonido: 40KHz
- Duración mínima del pulso de disparo TRIG (nivel TTL): 10  $\mu s$
- Duración del pulso ECO de salida (nivel TTL): 100-25000  $\mu s$
- Dimensiones: 45\*20\*15 mm
- Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra 20ms (recomendable 50ms)

## 3. Modelado sensores mediante optoacoplador.

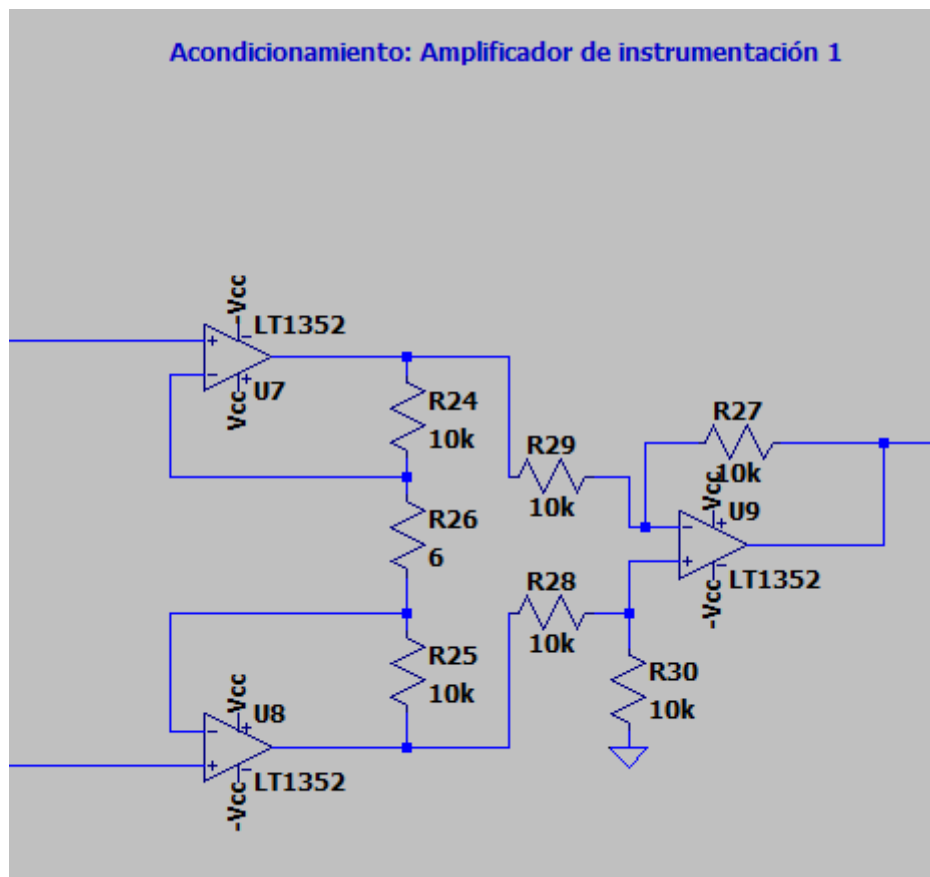
Debido a la imposibilidad de incorporar el sensor en LTSPICE se pone un optoacoplador CNY17-1. Para asimilarlo lo máximo posible al sensor real, este será alimentado por una tensión  $V = 5V$ . En su entrada, tendrá una forma cuadrada de periodo 50ms y un ancho de pulso que se irá modificando como se explicó anteriormente, de forma que la distancia detectada en centímetros sea el ancho de pulso en  $\mu s$  dividido por 59, respetando las características indicadas en la ficha técnica [Ref. 2.]



Como se puede ver, se modelan los 3 sensores de la misma forma, salvo que la resistencia en el sensor 1 es de  $10m\Omega$ , en el sensor 2 es de  $1\Omega$ , y en el sensor 3,  $1k\Omega$ . De esta forma, se requerirá una intensidad diferente en cada sensor, lo que provocará que en determinados sensores se alcance la intensidad de saturación del optoacoplador.

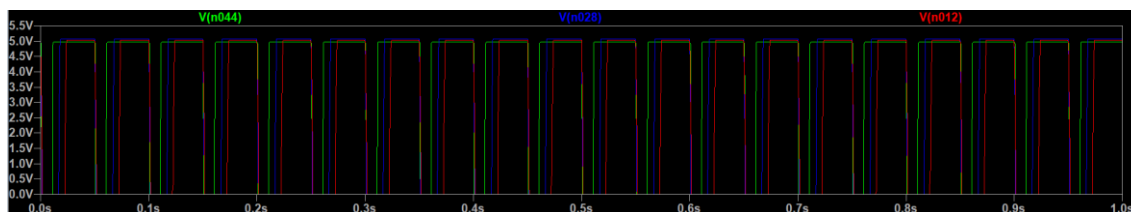
#### 4. Etapa de acondicionamiento.

El optoacoplador satura en intensidad en el sensor 1 y 2, no así en el 3, en el que la tensión de salida es 5V. Esta saturación en intensidad hace que la tensión de salida no sea la deseada, y que en cada sensor se haga necesaria la implementación de una etapa de acondicionamiento, que se hará mediante un amplificador de instrumentación, con la siguiente estructura:



La ganancia de este tipo de estructuras es de  $1+2R/R_{26}$ , por lo que se ajusta el valor de la resistencia central para que todos los sensores tengan una salida de 5V. En el caso del sensor 3, al no necesitar incrementar la tensión, no se pone una resistencia central, lo que equivaldría a poner una resistencia de valor infinito, que deja una ganancia de la estructura de valor 1. En la siguiente

figura se muestran las salidas de los sensores tras la etapa de acondicionamiento, donde se observa que su amplitud de tensión es muy cercana a los 5V.

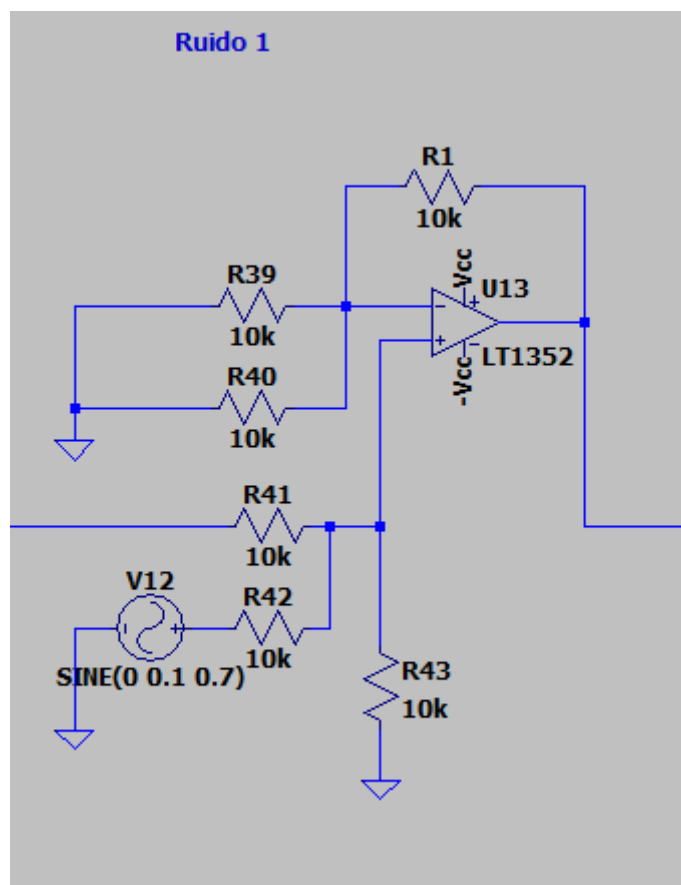


Tras la salida del acondicionador se inyecta ruido de forma diferente para el sensor 1, 2, y 3. Posteriormente a la inyección del ruido, este se ha de tratar, mediante el uso de filtros, lógicamente de diferente naturaleza, al tener que tratar unas características de ruido diversas.

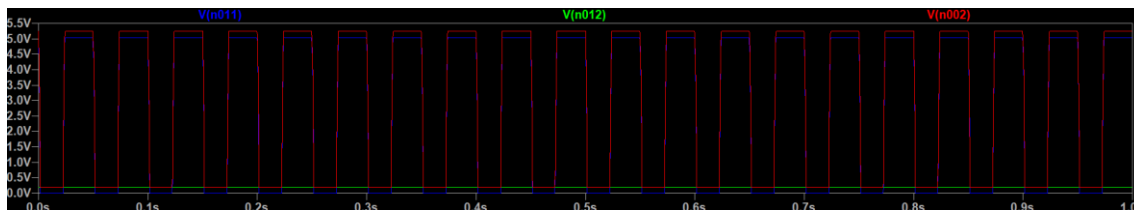
## 5. Ruido y filtrado sensor 1.

### Adición de ruido

En este primer caso, el ruido se añade a la señal de salida mediante una estructura sumadora no inversora, como se muestra en la siguiente figura:



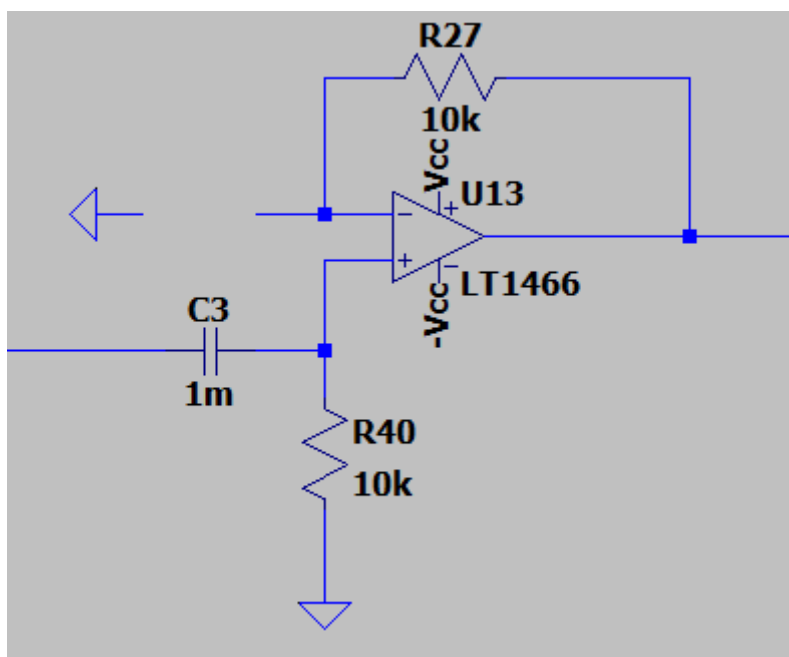
Se diseña la estructura de forma que el paralelo en el borne positivo y negativo se de. Para ello, se escogen todas las resistencias de la figura de valor  $10k \Omega$ , dejando la conexión del borne negativo a tierra con una resistencia teórica de valor infinito, es decir, desconectado físicamente. Como se muestra en la siguiente figura, la función de esta etapa se cumple, sumando  $0,2V$  de DC a la señal de  $5V$  que sale del sensor 1.



### Filtrado de ruido.

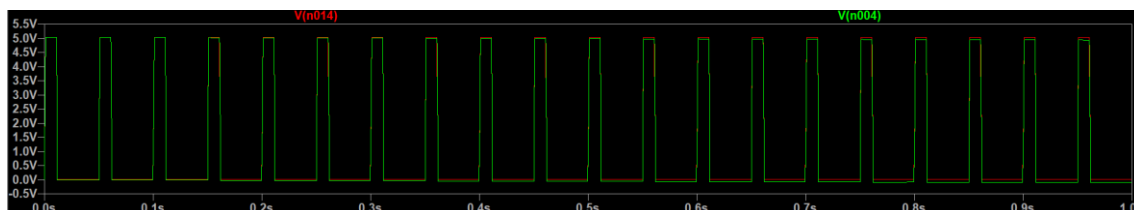
El ruido a filtrar es, por tanto, la parte de señal en corriente continua que tiene la señal de salida. Por lo tanto, se ha de filtrar la parte de “baja frecuencia” (frecuencia de 0Hz al ser corriente continua) de esta señal. Es, por lo tanto, necesario, implementar una estructura de paso alto que reduzca o incluso elimine el ruido.

Para ello, en primer lugar, se prueba con un filtro de primer orden, con la siguiente estructura:

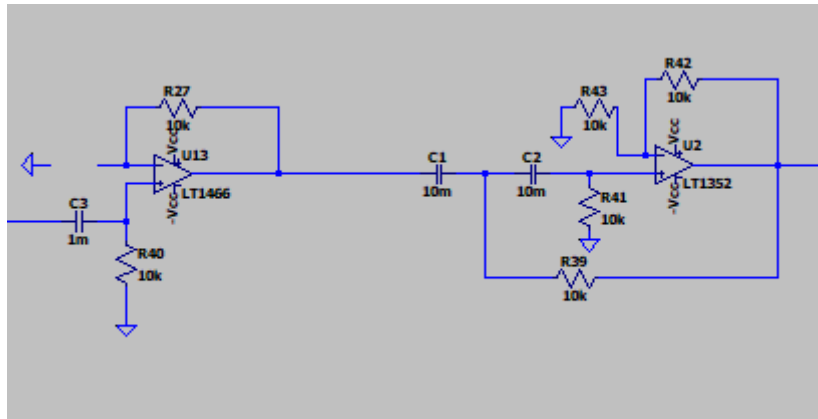


En el que la ganancia a frecuencias medias es  $(1+R_s/R_e)$ , con esta configuración, 1, pues la resistencia de entrada tiene un valor teórico infinito, al no estar conectada. La capacidad del condensador se escoge de forma que la frecuencia de corte se encuentre holgadamente por debajo de la frecuencia de la señal del sensor (20Hz), de forma que ésta no se vea afectada. Se escoge un condensador de 1mF, de forma que la frecuencia de corte del filtro esté en  $f_c = \frac{1}{2\pi CR} = 0,016Hz$ .

La estructura tiene una eficacia muy alta en el filtrado de este ruido, como se puede notar en la siguiente figura, donde se comparan la señal antes de inyectar el ruido y tras inyectarlo y filtrarlo:



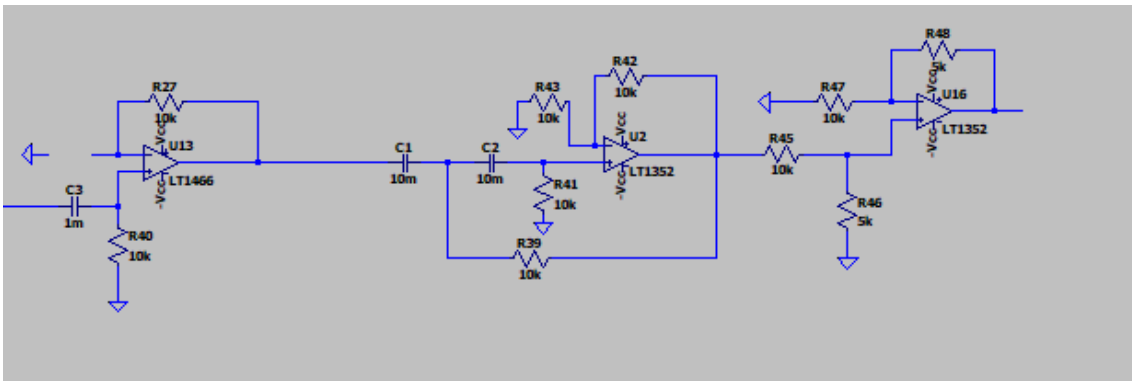
Con el objetivo de comprobar si la eficiencia mejorase, se diseña un filtro de tercer orden, mediante la conexión del filtro de primer orden ya diseñado con otro filtro de segundo orden, de tipo Sallen&Key.



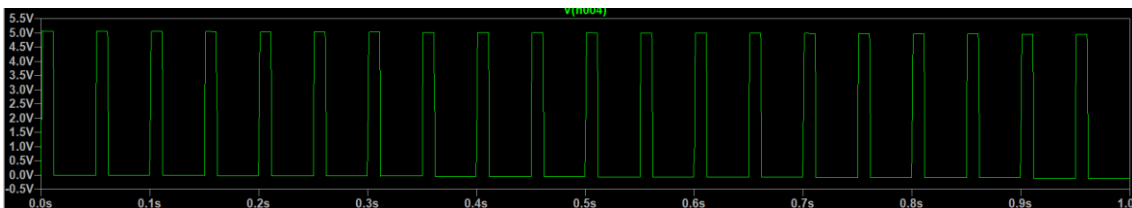
Según las tablas de estos polinomios, 3-K ha de ser igual a 1, por lo que el valor de K es 2. Por ello, las resistencias superiores tienen el mismo valor.

En cuanto a los condensadores y resistencias inferiores, la expresión  $f_c = \frac{1}{2\pi CR}$  determinará la frecuencia de corte. Con el objetivo de que se encuentre holgadamente por debajo de los 20Hz, se escogen unos valores de C=10 mF y R=10k  $\Omega$ .

La ganancia de la estructura de segundo orden es igual a  $K=2$ , por lo que la tensión de salida se acopla a un amplificador de ganancia  $\frac{1}{2}$ , como se muestra a continuación:



De esta forma, la salida se muestra a continuación:

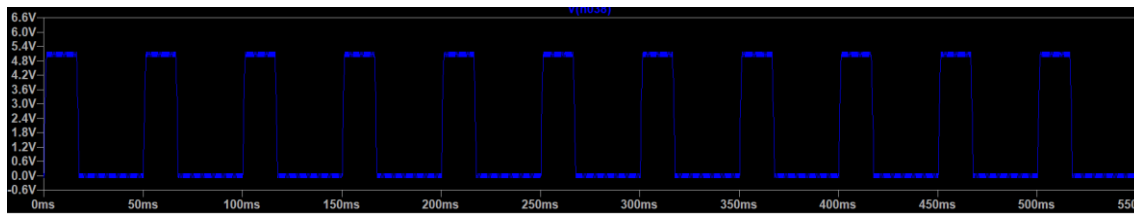
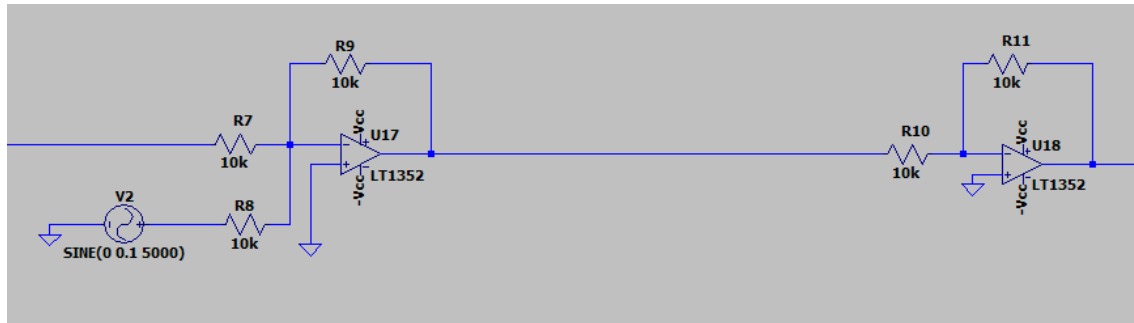


Se observa que el ruido se filtra adecuadamente. A pesar de que no se aprecia ninguna diferencia entre el filtro de tercer orden y de primer orden, si bien se mantendrá el de tercer orden por su mayor fiabilidad.

Con esto, la señal procedente del sensor 1 se da por filtrada, y se procede a diseñar el filtro de la señal procedente de los otros dos sensores.

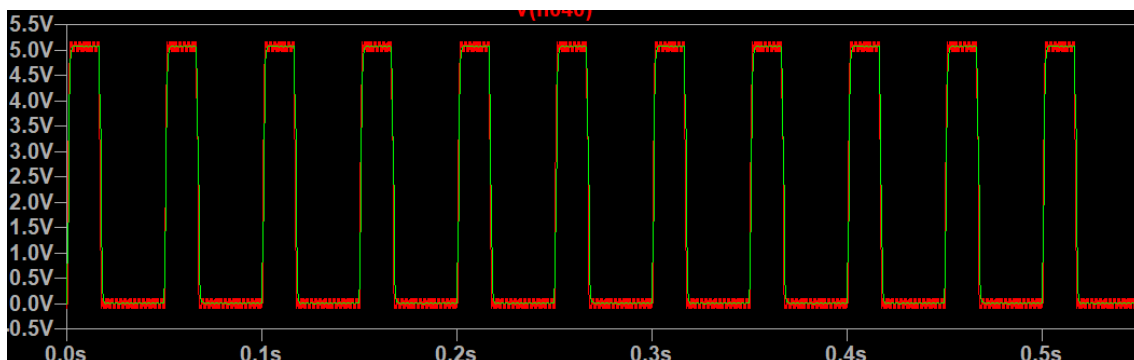
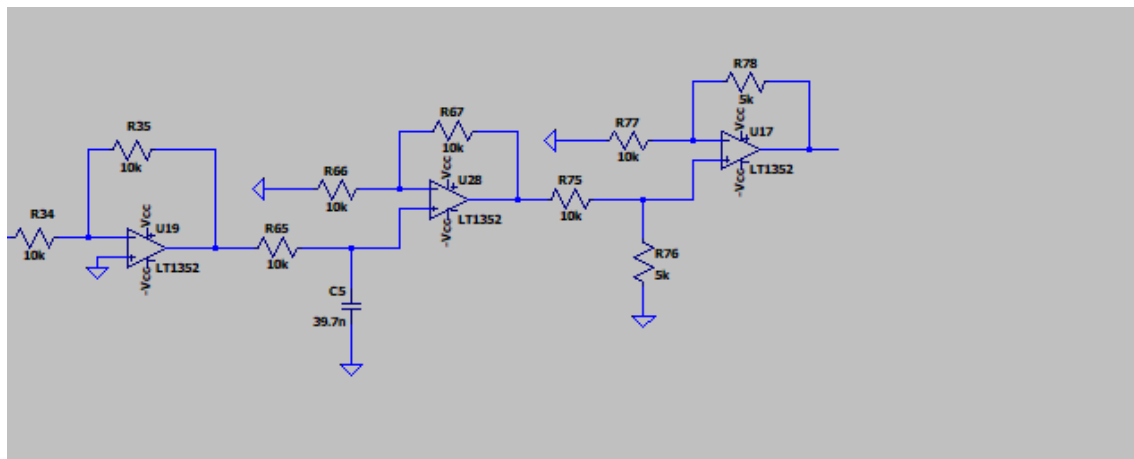
## 6. Ruido y filtrado sensor 2.

Se introduce ruido de 5.000Hz mediante sumador convencional y posterior inversión.



Para filtrarlo, se ha de añadir por un filtro paso bajo. En primer lugar, de primer orden, con frecuencia de corte en 400Hz, es decir, una década por encima de la señal del sensor, y más de una década por debajo del ruido, por lo que se entiende que es un margen suficiente para filtrar correctamente. De esta forma, el condensador será de 39.7nF. Las resistencias son de 10k  $\Omega$ , por lo que la ganancia será de 2, y esto se corrige con una estructura diferencial de ganancia  $\frac{1}{2}$ .

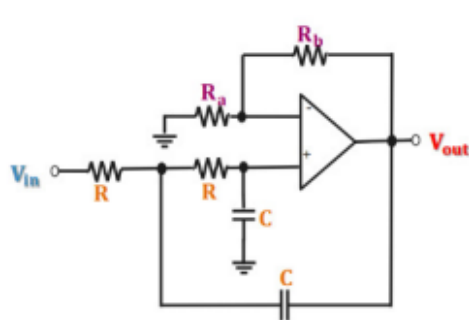
La estructura se muestra a continuación:





Como se puede observar, la señal filtrada -en verde- no contiene la mayor parte del ruido de la señal original -en rojo-. A pesar del filtrado de la mayor parte, se observa que queda parte del ruido por lo que se decide diseñar un filtro de orden 3 para tratar de eliminar mayor parte del ruido.

Se escoge diseñar un filtro de segundo orden con el de primer orden ya definido. Este filtro seguirá la siguiente ley:



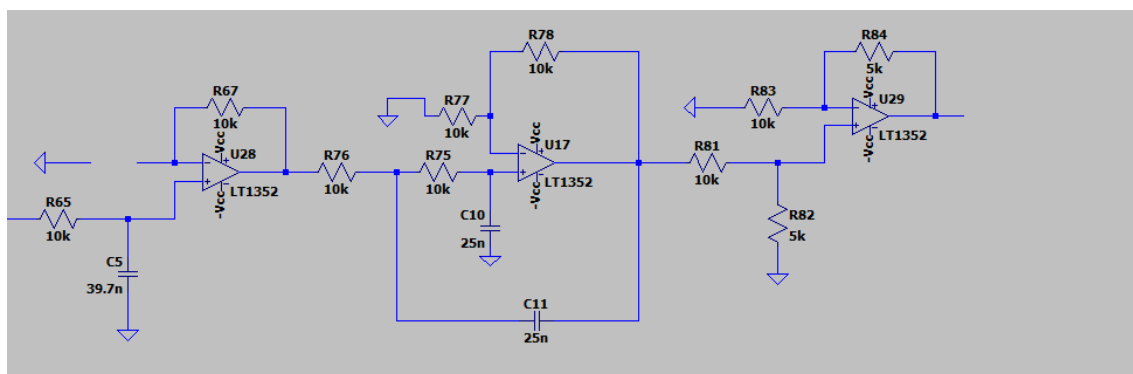
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = K \frac{\left(\frac{1}{RC}\right)^2}{s^2 + \frac{3-K}{RC}s + \left(\frac{1}{RC}\right)^2}$$

$3 - K :=$  coeficiente en  $s$  para el polinomio de Butterworth

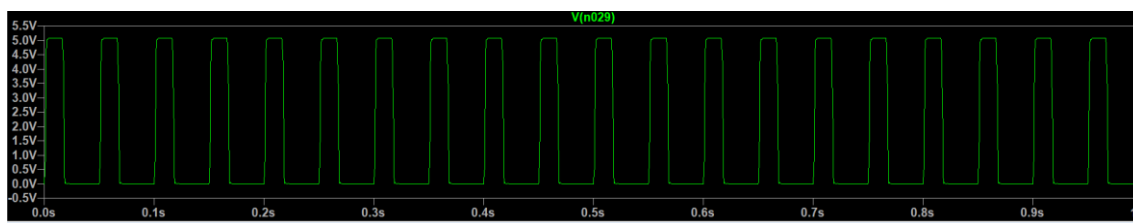
$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$K = \frac{R_a + R_b}{R_a}$$

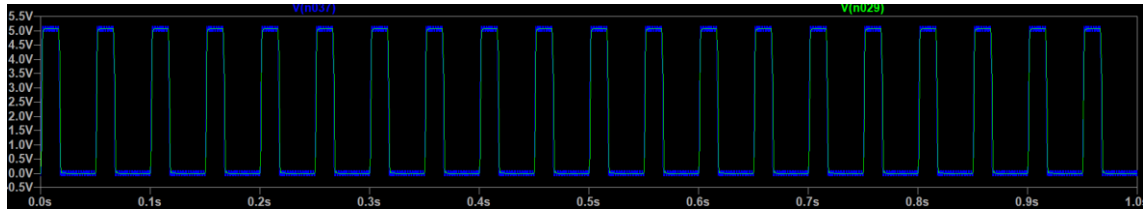
Acudiendo al polinomio de Butterworth, se obtiene una K de valor 2. El valor de los condensadores se escoge de valor 25nF, para añadir dos polos en la frecuencia de 636Hz, y las resistencias se escogen todas de 10k  $\Omega$ . Se adapta la resistencia superior del filtro de primer orden para hacerla cero, haciendo así 1 su ganancia, y se añade la estructura diferencial de ganancia  $\frac{1}{2}$  tras el filtro de segundo orden, quedando la siguiente estructura:



Donde, como se ve, se ha añadido un amplificador diferencial de ganancia  $\frac{1}{2}$  a la salida del filtro de segundo orden que, irremediablemente tenía una ganancia de 2. Los resultados del filtrado se muestran a continuación.

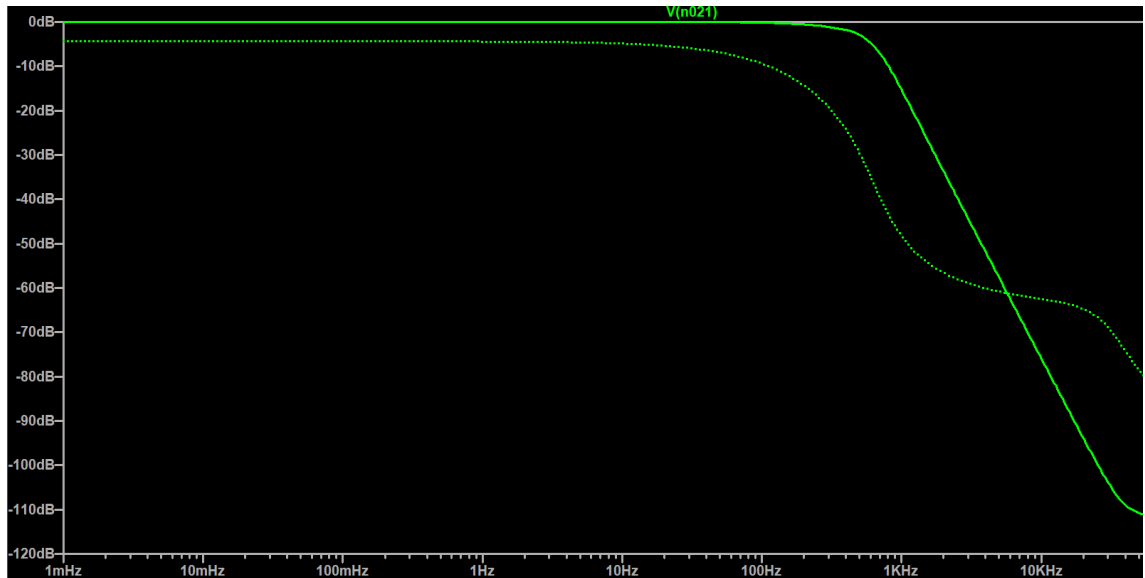


Y, comparando la señal de salida con la original:



Como se puede ver, se filtra el ruido con una efectividad muy alta.

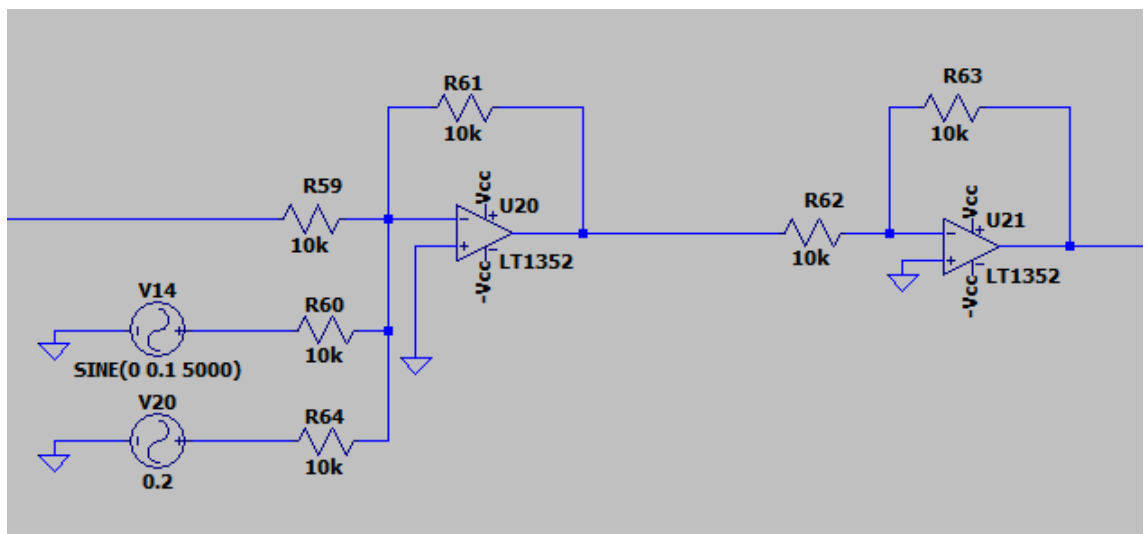
Cabe destacar que se ha calculado el diagrama de Bode del filtro, que queda como se muestra:



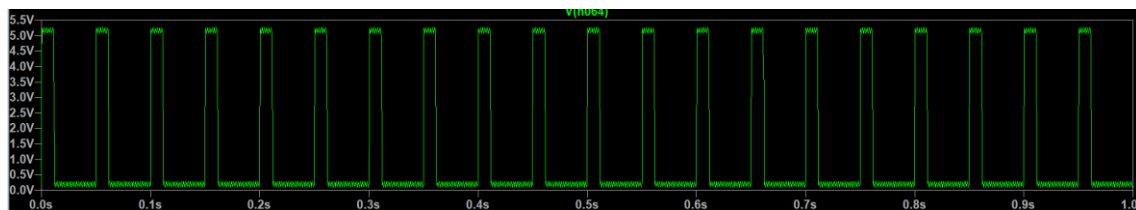
Se puede comprobar perfectamente el efecto de los polos a las frecuencias de corte, en los que se aprecia un cambio en la pendiente.

## 7. Ruido y filtrado sensor 3.

En este caso, el sensor 3 recibe una inyección de ruido igual a la combinación del ruido de los sensores 1 y 2, es decir, un nivel de continua y una señal senoidal, mediante una estructura sumadora en serie con una inversora:

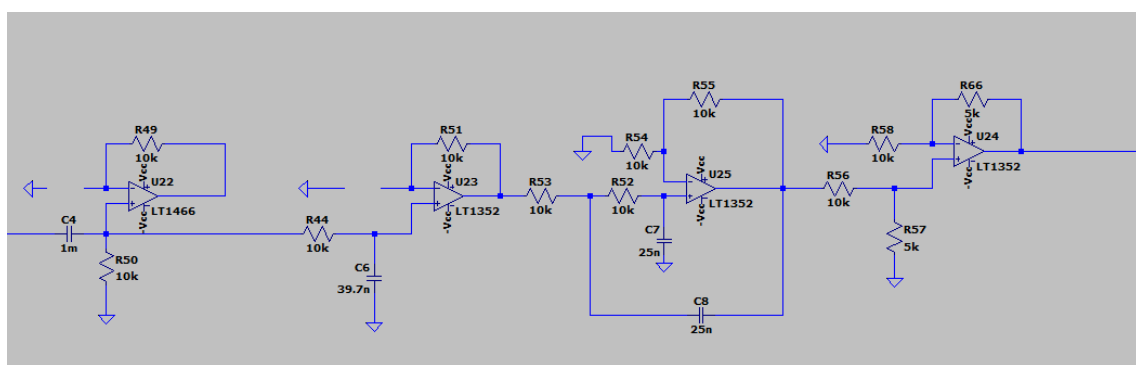


Donde, por tanto, la señal a filtrar es la siguiente:



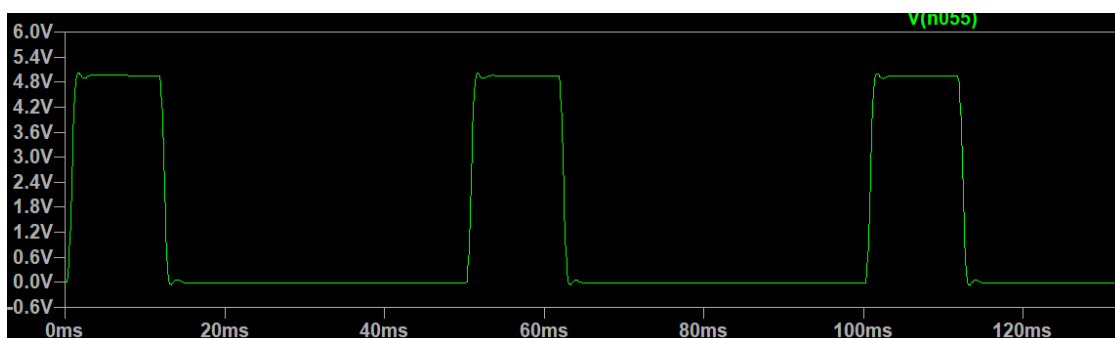
En la que se aprecia claramente la influencia continua y alterna del ruido.

Por lo tanto, la estrategia de filtrado será un filtro paso banda resultado de la asociación en serie del filtro diseñado para el sensor 1 y el sensor 3. Con el objetivo de no acumular excesivos elementos, se asociará el filtro paso alto de orden 1 de continua, que, como se demostró, ofrecía unas prestaciones muy efectivas, y el filtro paso bajo orden 3 diseñado para el sensor 2, que, como se vio, sí que mejoraba notablemente las prestaciones del filtro de orden 1.



Como se puede ver, esto es la asociación en serie del filtro paso alto de orden 1 empleado en el sensor 1, el filtro de paso bajo de orden 3 empleado en el sensor 2, y un amplificador diferencial que tiene ganancia  $\frac{1}{2}$ , que deja en 5V la amplitud de la señal de salida.

La señal, ya filtrada, a su salida del filtro, tiene la siguiente forma:

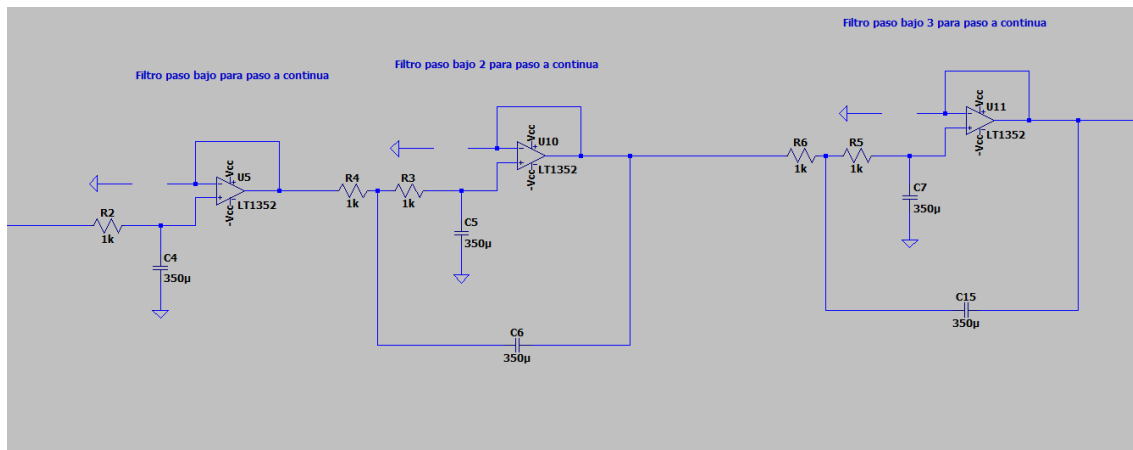


## 8. Conversión a corriente continua.

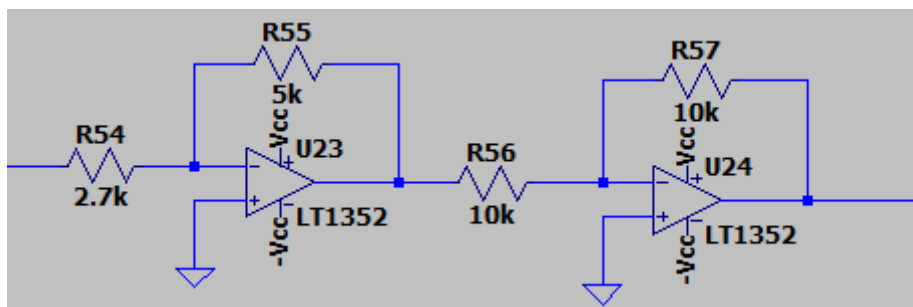
El siguiente paso será pasar la señal cuadrada a corriente continua y en adelante se trabajará con este tipo de señal. Para ello, se diseñará un filtro de paso bajo una frecuencia de corte de 0,45 Hz. El objetivo es eliminar todos los armónicos de los que se compone la señal cuadrada para dejar únicamente su componente continua y para ello se elegirá una frecuencia de corte para el filtro menor a la frecuencia fundamental de la señal con la que se trabaja.

De esta manera, las señales que lleguen al filtro con sus ciclos más separados se traducirán, a través del filtro, en una tensión continua inferior a la de las señales con un mayor número de ciclos para un determinado intervalo de tiempo.

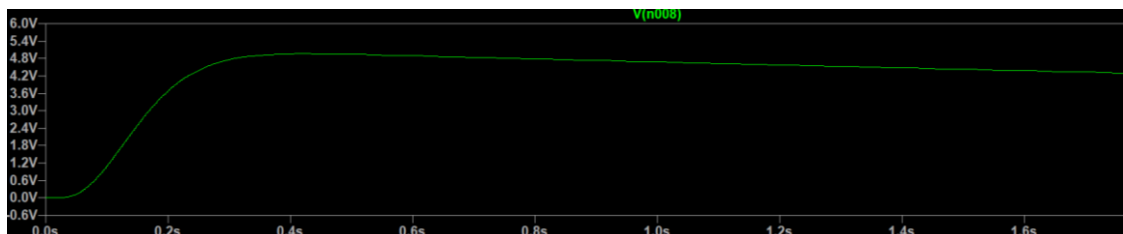
Se realizaron pruebas con filtros de orden 1 hasta 5, eligiendo este último como más idóneo por su mayor estabilidad en el filtrado, asegurando que todas las señales se filtran correctamente.



A continuación, y para acondicionar la señal de manera que su valor de tensión quede comprendido en un intervalo entre 0V y 5V, se añadirán dos estructuras inversoras. La primero de ellos, servirá para convertir la señal que, por la naturaleza de la estructura, quedaría invertida, sirviendo el segundo inversor para corregirla (la ganancia elegida para este último es 1).



Con esto, se convierte la señal a continua, pero se detecta un error: Los filtros de paso alto están filtrando los armónicos de continua, dando lugar a una disminución de la tensión de continua según pasan los segundos:



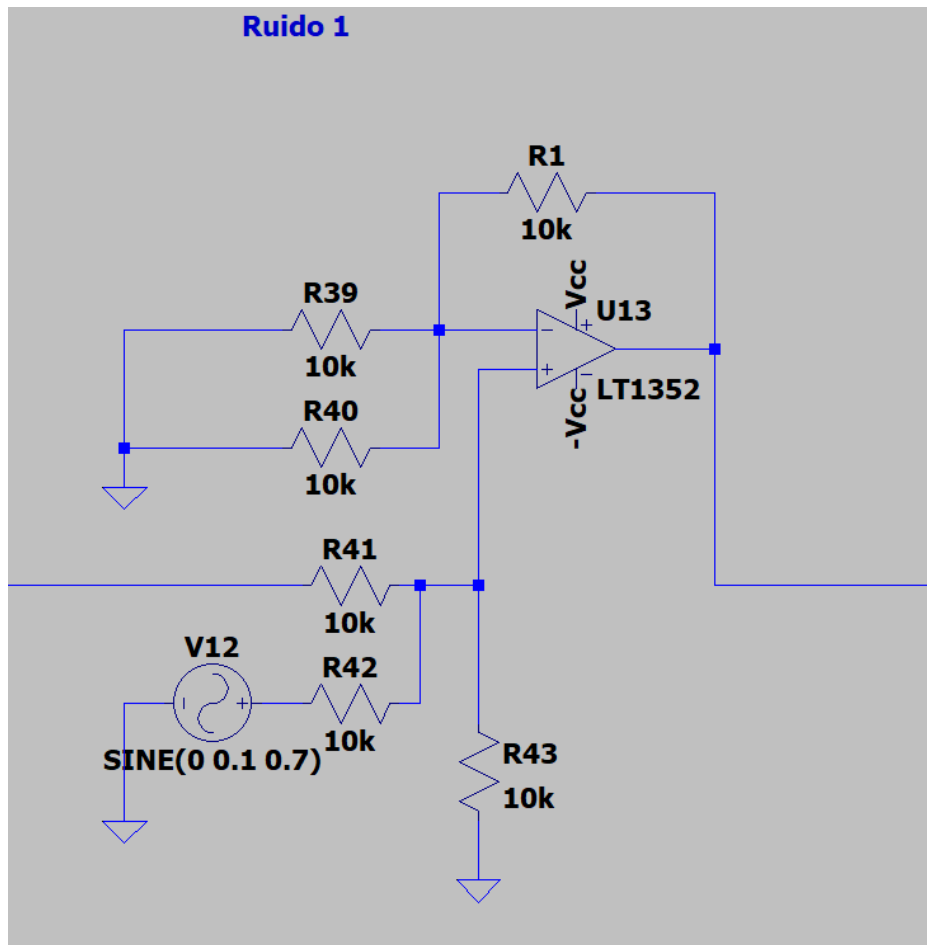
## 9. Cambio en las estructuras de filtrado.

Es necesario cambiar la estructura de filtrado para corregir este error. Se cambiará el ruido, sustituyendo el ruido de corriente continua por un ruido de baja frecuencia, de 0,7Hz, y se diseñará un filtro Notch centrado en la frecuencia del ruido que queremos eliminar.

## 9.1. Corrección de etapa filtrado en sensor 1.

### Adición de ruido.

El cambio en el ruido se muestra a continuación:



Como se puede ver consiste en añadir una señal de 0,1V de amplitud y una frecuencia de 0.7Hz.

### Sección de filtrado.

Para filtrarla, el filtro de Notch estará compuesto por un filtro paso bajo de orden tres, con una frecuencia de corte triple  $f_{ci}=0.3$  Hz y un filtro paso alto, también de orden 3, con  $f_{cs}=1.6$  Hz, de forma que:

$$f_{ruido} = 10^{\frac{\log(1.6) + \log(0.3)}{2}} = 0.7 \text{ Hz}$$

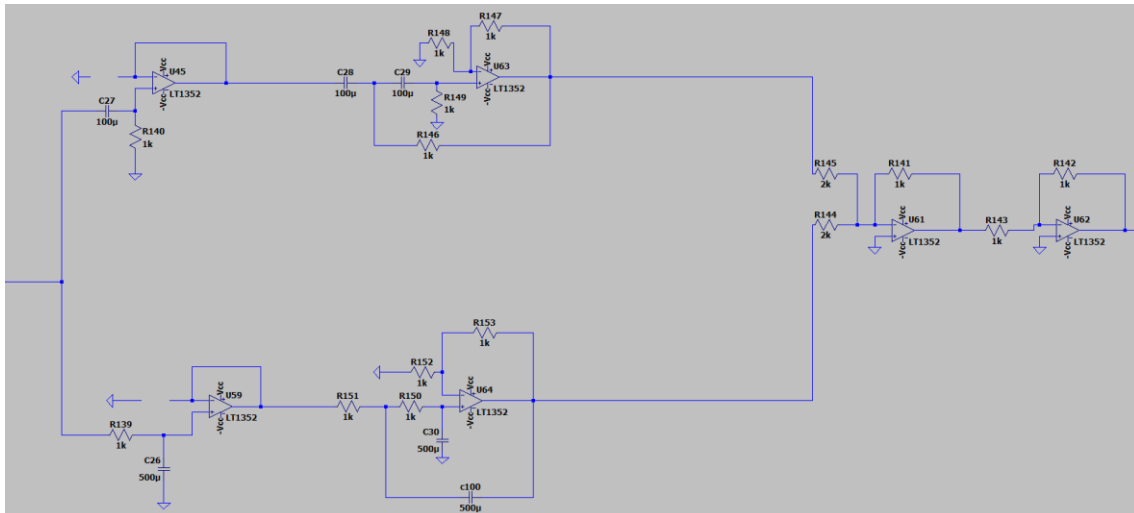
Lo que implica que el filtro está centrado en el ruido, y que lo atenuará adecuadamente.

Por otro lado, el valor de los condensadores para conseguir el efecto mencionado, se calcula como sigue:

$$C1 = \frac{1}{2\pi * f_c * R} = 100 \mu\text{F}$$

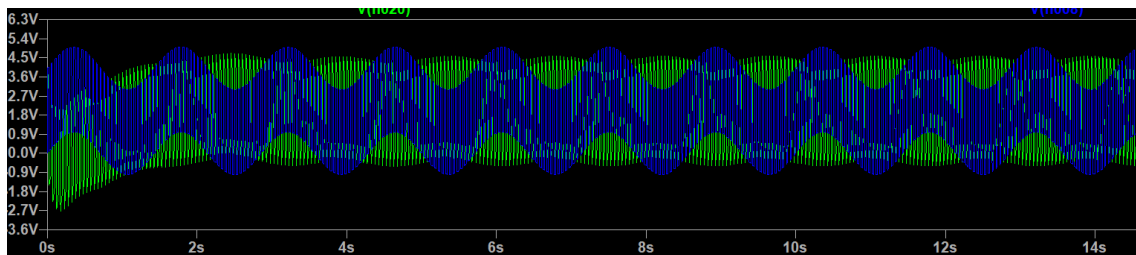
$$C2 = \frac{1}{2\pi * f_c * R} = 500 \mu\text{F}$$

Quedando la siguiente estructura implementada en el modelo LTSPICE:

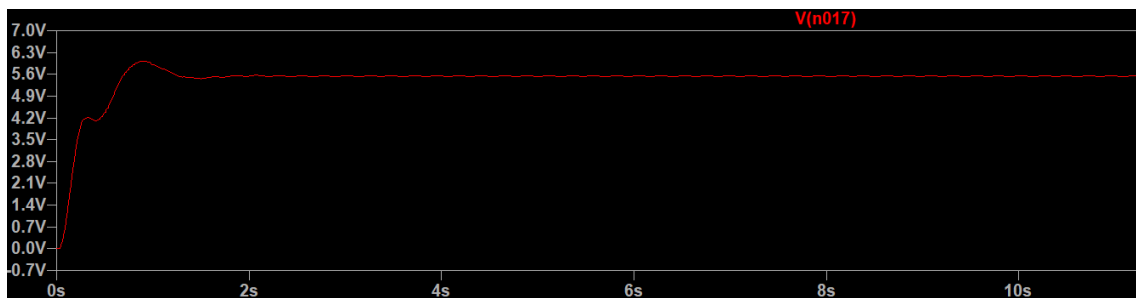


Como se puede ver, el filtro Notch está compuesto por un filtro de paso alto y paso bajo en paralelo, con dos estructuras inversoras a la salida, que adaptan su ganancia a la unidad.

Los resultados, con el filtro de orden 1 son satisfactorios, filtrando la señal de baja frecuencia con eficacia, como se muestra:

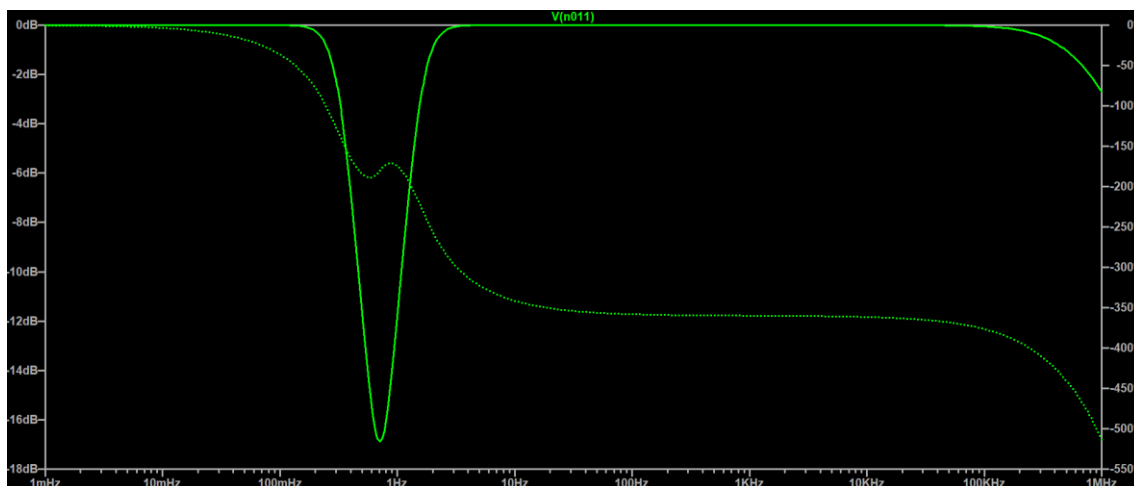


Aplicando un ruido de 0,7Hz, es decir, de baja frecuencia, que subirá y bajará lentamente, se puede comprobar que la eficacia del filtrado es adecuada. La amplitud final de la señal ruido será de 0,1V, dejando la siguiente salida tras la sección de conversión a continua:



Como se puede ver, se elimina el efecto de bajada que se apreciaba anteriormente, dejando un resultado plano, que funciona adecuadamente.

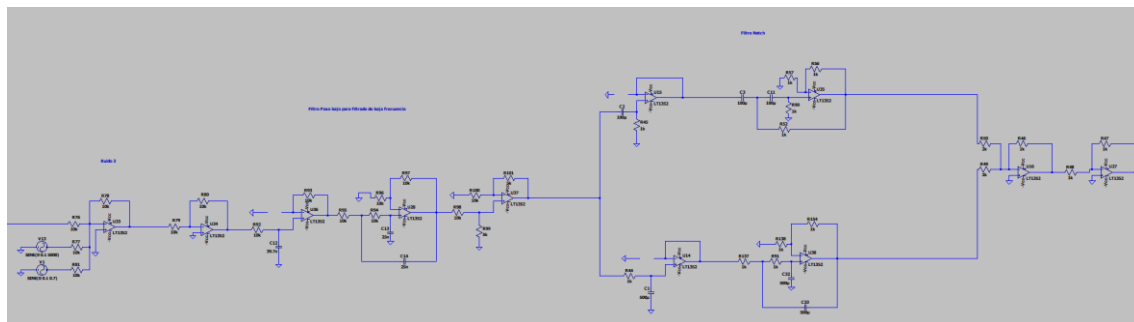
Por último, cabe mencionar que se ha calculado del **diagrama de bode del filtro**, que queda como se muestra:



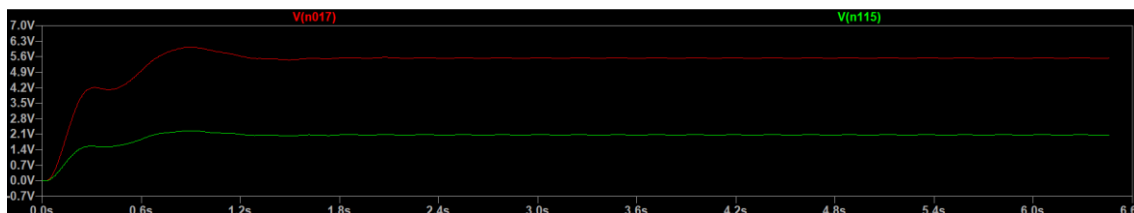
Y se aprecia perfectamente el efecto de las dos frecuencias de corte, así como el éxito a la hora de diseñar el punto de máxima atenuación (mínima ganancia) en 0,7Hz, maximizando así la eliminación de ruido.

## 9.2. Corrección de etapa filtrado en sensor 3.

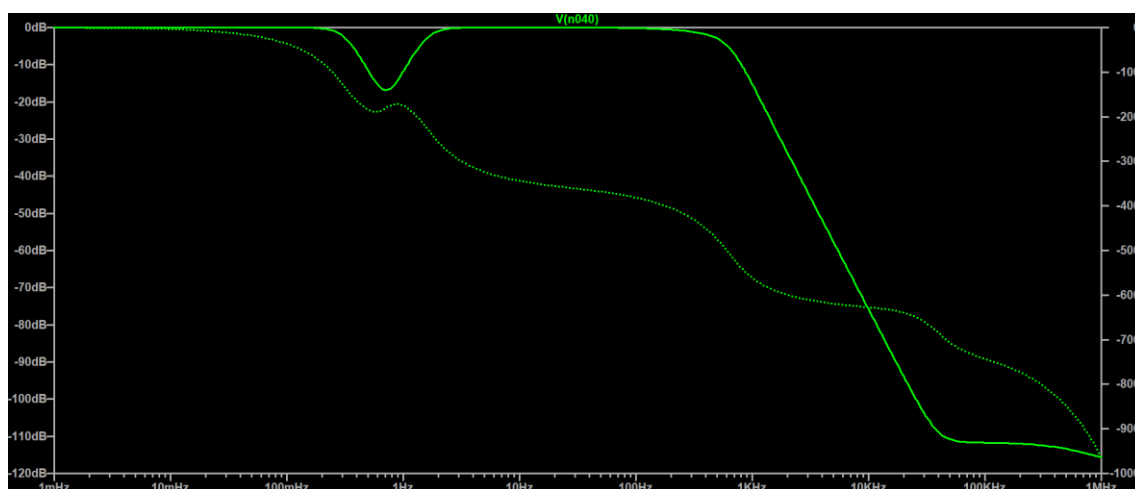
Se aplica el mismo ruido que en el sensor 1, quedando el filtro Notch en serie con el filtro paso bajo, de la siguiente forma:



Como se puede ver en la siguiente gráfica, la señal de salida tras el paso por la transformación a corriente continua es plana, eliminándose tanto el ruido generado, como el efecto indeseado que se generaba en el filtro paso alto.



Por último, a continuación, se muestra el diagrama de Bode del conjunto del filtro en este sensor 3, que no es otro que la combinación del diagrama de bode del filtro en sensor 1 y 2, como se puede comprobar:



Y se nota el efecto del filtro de tipo Notch, así como de las frecuencias de corte del filtro paso bajo, que atenúan el ruido a altas frecuencias.

## 10. Lógica de control.

El procesamiento de las señales que han llegado desde los sensores del robot ya está completo y lo que procede a continuación es elaborar una lógica de control para actuar en consonancia con las mismas.

Como ya se ha explicado anteriormente las señales tratadas son el resultado de la interacción del robot con los obstáculos que le rodean y el objetivo es inducir un movimiento en él para evitarlos. Este movimiento se realizará a través de dos motores que harán funcionar sendas ruedas a izquierda y derecha de la máquina.

En el anterior punto se ha comentado que todas las señales que llegan de los sensores estarán contenidas en un intervalo entre 0V y 5V de manera que cuanto más distancia a un obstáculo, más cercana a 5V será la señal obtenida. De esta manera, si el robot se acerca al obstáculo, los sensores producirán una señal con un menor ancho de pulso, que se traduce en una señal de continua más cercana a cero y llegará un punto en que se activarán los motores para invertir el rumbo. El límite que se ha establecido para que se ponga en marcha el motor para cambiar la dirección del robot son 100  $\mu$ s de anchura de ciclo de la señal cuadrada.

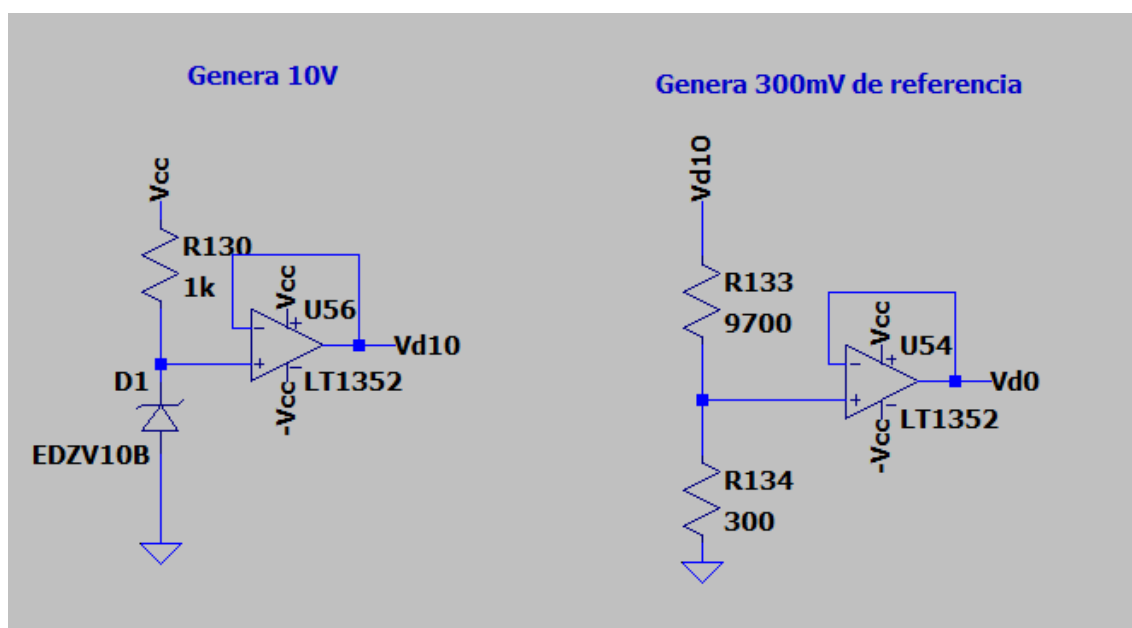
En este punto, se explicará el algoritmo lógico que dictará el funcionamiento del robot en el que estarán implicados 3 sensores (izquierda, centro y derecha) y dos motores que harán funcionar dos ruedas (izquierda y derecha). Se plantean dos sentidos de giro de las ruedas: sentido horario (5V) y sentido antihorario (-5V). La rueda derecha siempre estará girando en el mismo sentido (5V) mientras que la rueda izquierda será la encargada de dictar la dirección del movimiento, de manera que, si gira en el mismo sentido que la de la derecha (5V) el movimiento del robot es hacia adelante y si gira en sentido inverso (-5V) se produce una rotación. La rotación se producirá cuando alguno de los sensores devuelva una señal igual o menor a 300mV y se seguirá rotando hasta que todos los sensores superen este valor, momento en el cual el robot se desplazará hacia adelante.

La lógica descrita queda representada en la siguiente tabla en la que se muestran algunos de los casos posibles:

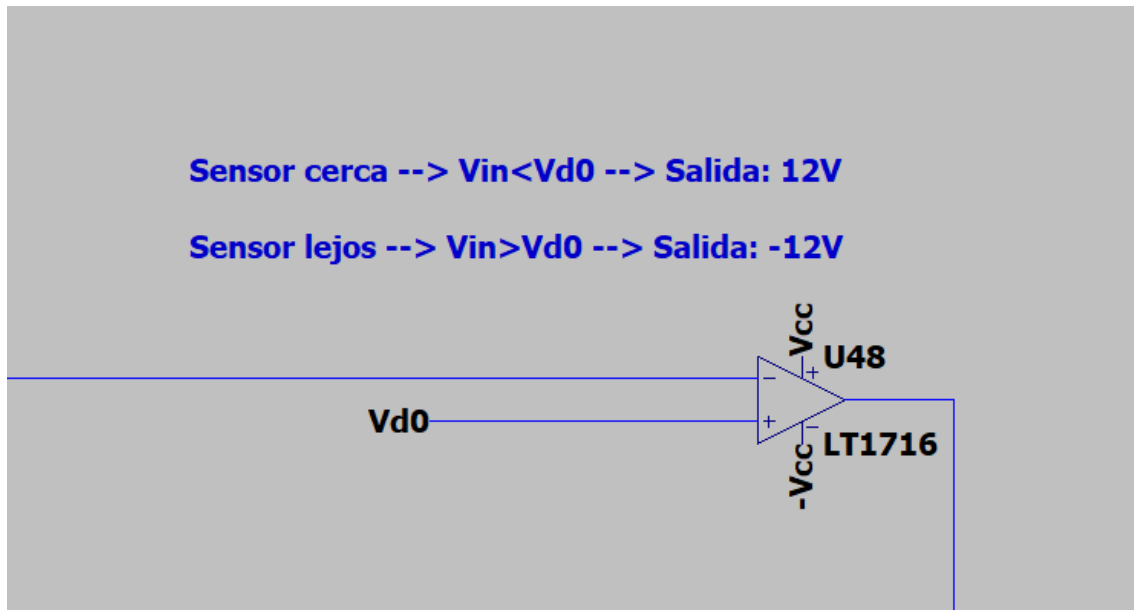


Sensor	Izquierda	Centro	Derecha	Polaridad	Polaridad
Caso	s1	s2	s3	derecha	izquierda
Contra pared	5	0.033	5	+	-
	5	0.03	2	+	-
	5	0.025	0.05	+	-
	2	0.04	5	+	-
	0.9	0.035	5	+	-
	2	0.045	2	+	-
	0.9	0.0275	0.04	+	-
Esquina der	5	5	0.035	+	-
	5	2	0.045	+	-
	2	5	0.03	+	-
	2	2	0.025	+	-
Esquina izq	0.03	5	5	+	-
	0.025	2	5	+	-
	0.04	5	2	+	-
	0.035	2	2	+	-
Normal	2	5	5	+	+
	2	2	5	+	+
	5	2	2	+	+
	5	2	5	+	+
	2	5	2	+	+
	2	2	2	+	+

La lógica de control se lleva a cabo de la siguiente forma: En primer lugar, se ha de generar una tensión estable de 300mV, que será la tensión consigna, Si la señal de continua generada está por encima de este valor, se considera que el sensor detecta “cercanía” mientras que si la señal es más alta, se considera que detecta “lejanía”. Esta señal se genera con un diodo Zener que garantiza que la tensión sea estable, y, por tanto, susceptible de ser utilizada como comparación. Esto se consigue de la siguiente forma:

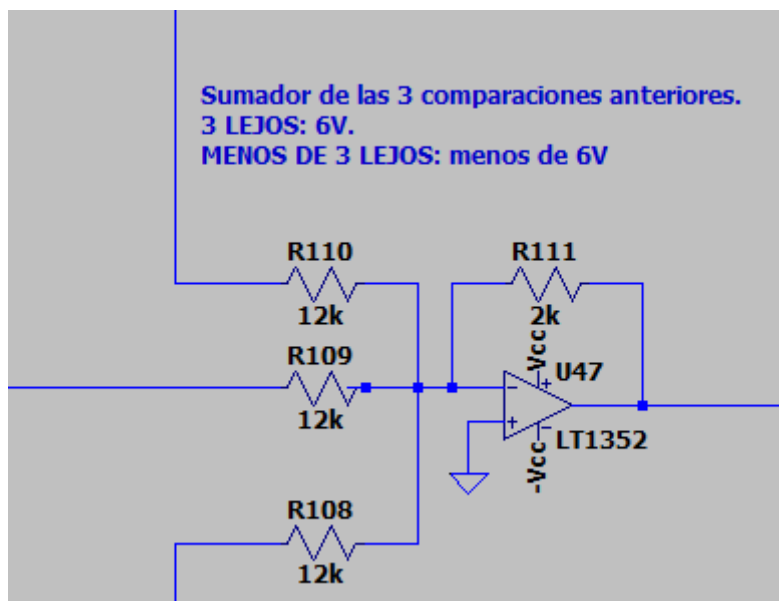


La señal de comparación generada (Vd0) se usará como comparación, mediante un amplificador operacional sin realimentación, funcionando como comparador, para cada línea de sensores:



De esta forma, se obtiene, para cada sensor, una tensión de 12V si se detecta cercanía, y de -12V si se detecta lejanía, (Vcc y -Vcc).

Ahora bien, el objetivo es que el robot distinga entre dos situaciones: Todos lejos o alguno cerca. ¿Cómo se puede conseguir combinar las señales de unos sensores con las de otros? La forma encontrada para generar esta combinación es el empleo de un amplificador sumador inversor, que invertirá la señal de Vcc o -Vcc procedente de cada línea de sensor, y sumará cada una de estas señales dividida entre 6:

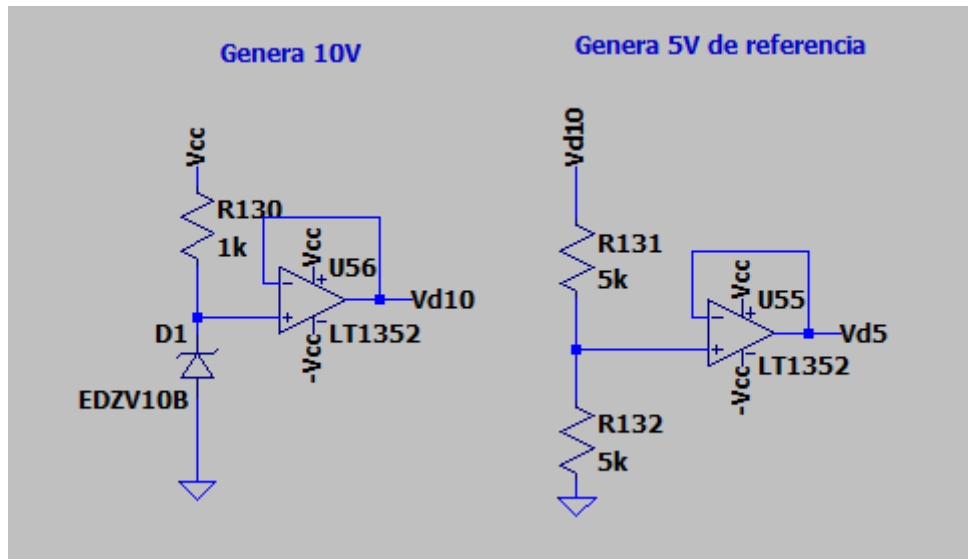


Se han escogido estos valores de resistencias para que cada señal quede dividida por 6. El motivo por el que se ha implementado esta estructura es porque de esta forma, se combinan las señales de los 3 sensores, quedando que la tensión saliente tiene la siguiente expresión:

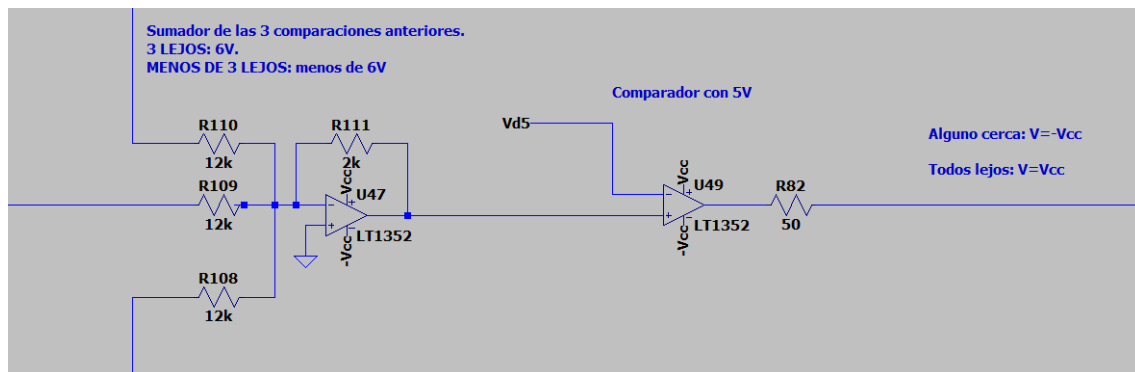
$$V_{out} = -\frac{V_{sensor1,in}}{6} - \frac{V_{sensor2,in}}{6} - \frac{V_{sensor3,in}}{6}$$

De esta forma, cuando los 3 sensores detecten lejanía, la señal de salida será +6V, y en caso de que un solo sensor detecte cercanía, la salida será de 4V o inferior.

De esta forma, podemos establecer una tensión consigna para comparar con este valor: 5V. En caso de que la señal que acabamos de obtener supere los 5V, el robot ha de avanzar. En caso contrario, ha de girar. Por lo tanto, se genera una tensión de referencia de 5V de la siguiente forma:



Se le asigna el nombre “Vd5”, y se empleará en la siguiente estructura comparadora:



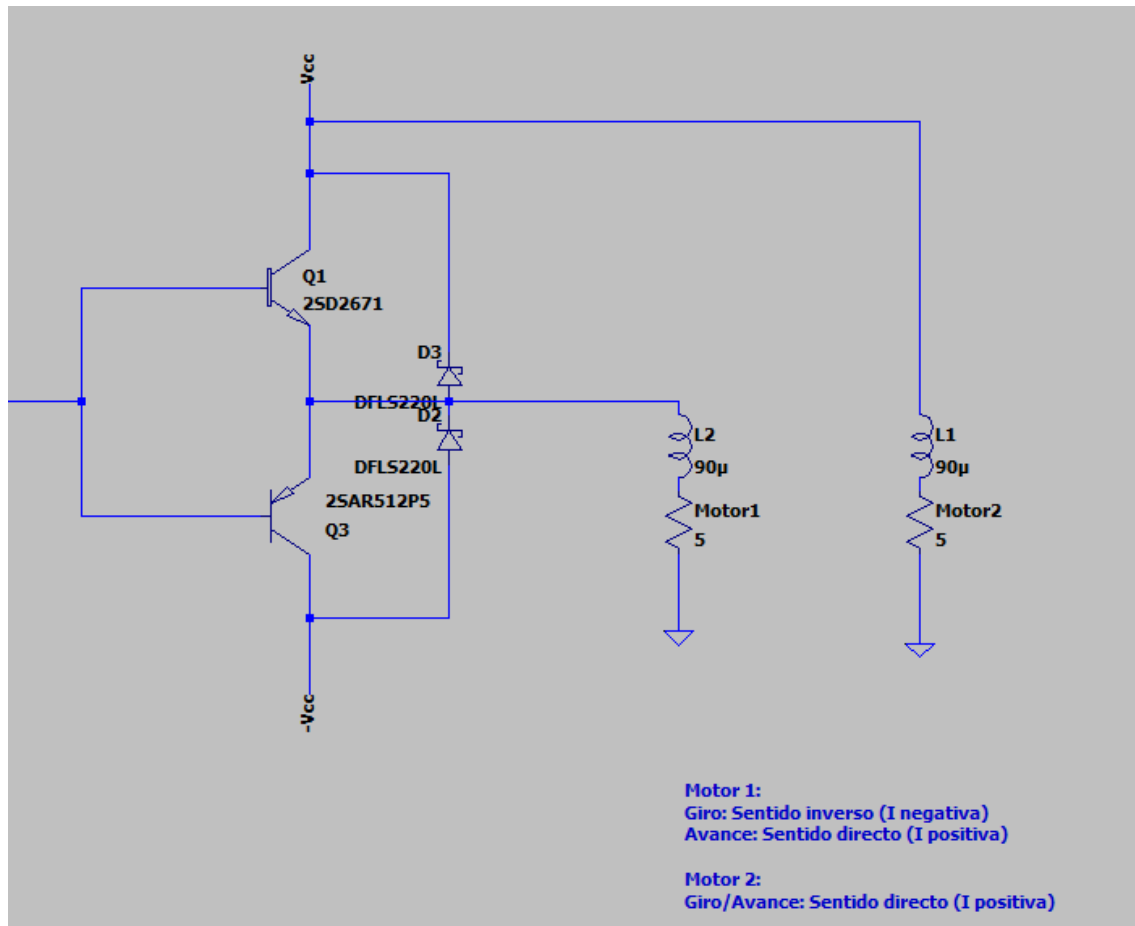
Como se puede ver, mediante una estructura simplificada al máximo para optimizar el uso de los recursos, se ha conseguido generar una tensión de salida que alcanzará el valor de “Vcc” en el caso de que todos los sensores detecten “lejanía”, y que adoptará un valor de “-Vcc” en el caso de que algún solo sensor detecte “cercanía”.

El siguiente y último paso es generar una estructura que regule el sentido de giro de uno de los motores, para modelar el comportamiento de avance/giro deseado.

## 11. Motores

Buscando parámetros de robots aspiradoras comerciales, se ha decidido tomar como referencia el motor FAULHABER 2657 XR, que proporciona una potencia de 34W, un valor del orden de los robots aspiradoras equivalentes. Los parámetros que se extraen de su ficha técnica [Ref. 7], son, principalmente, su resistencia equivalente,  $5\Omega$ , y su inductancia equivalente,  $90\mu\text{H}$ .

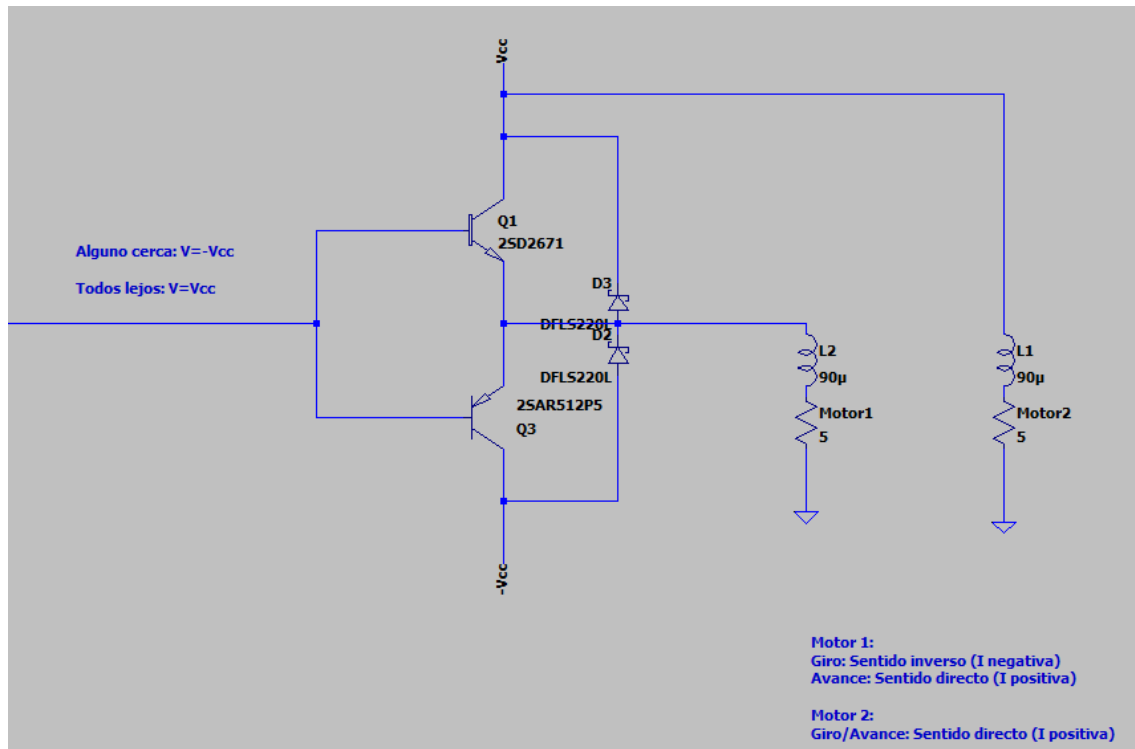
Los motores se regularán en función de la señal generada anteriormente como se muestra a continuación:



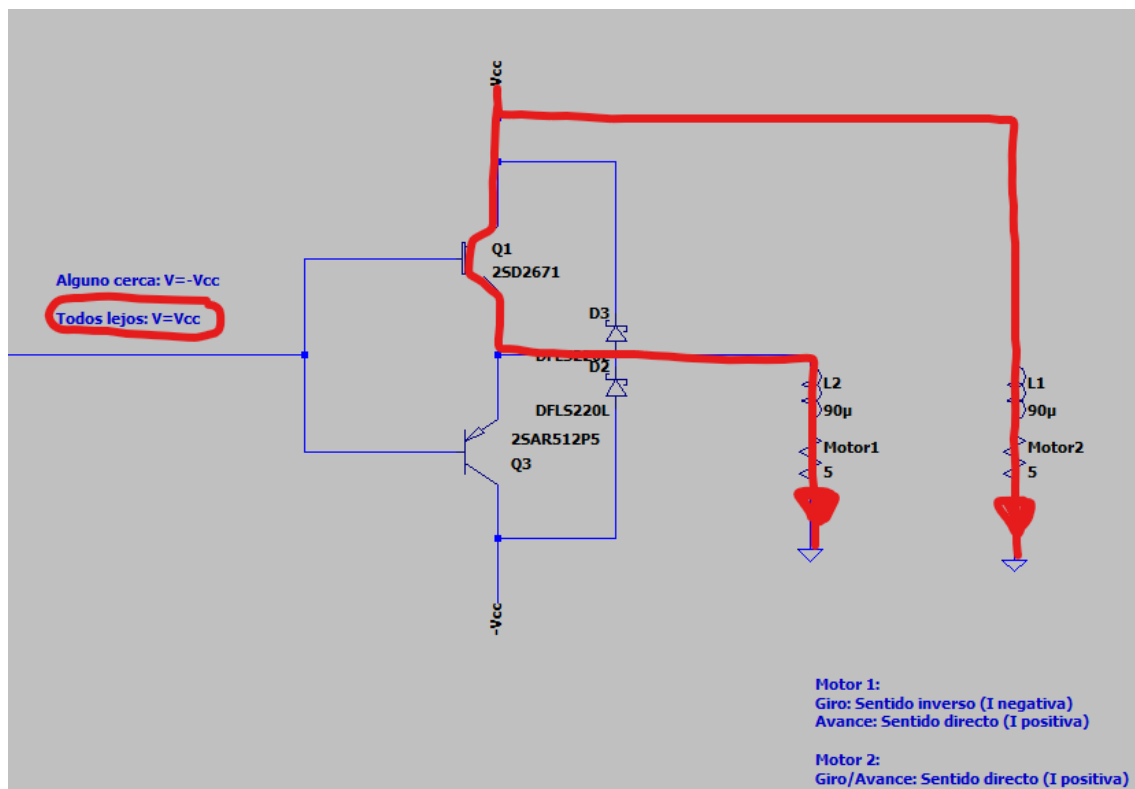
En un primer momento, se consideró solucionar el control mediante un puente H, pero se ha decidido optar por implementar una estructura que, como se puede ver, mediante dos transistores, controla el sentido de giro del Motor 1. En caso de que la señal entrante indique “Todos Lejos: Vcc”, se activará el transistor NPN superior, dejando que la corriente recorra el motor en sentido descendente, es decir, en el mismo sentido de giro que el Motor 2. Esto generaría un movimiento de avance en el motor, como se pretendía desde el principio del diseño.

En el caso de que la señal de entrada indique “Alguno cerca: -Vcc”, se activará el transistor inferior PNP, que controlará el comportamiento del motor, haciendo que la corriente recorriese el sentido contrario al del motor 2, y provocando un movimiento de giro en el robot aspiradora.

Se utilizan sensores diferentes para cada una de las situaciones ya que el sensor PNP actúa mediante tensiones positivas, mientras que el interruptor NPN debe de estar conectado a tensiones negativas.

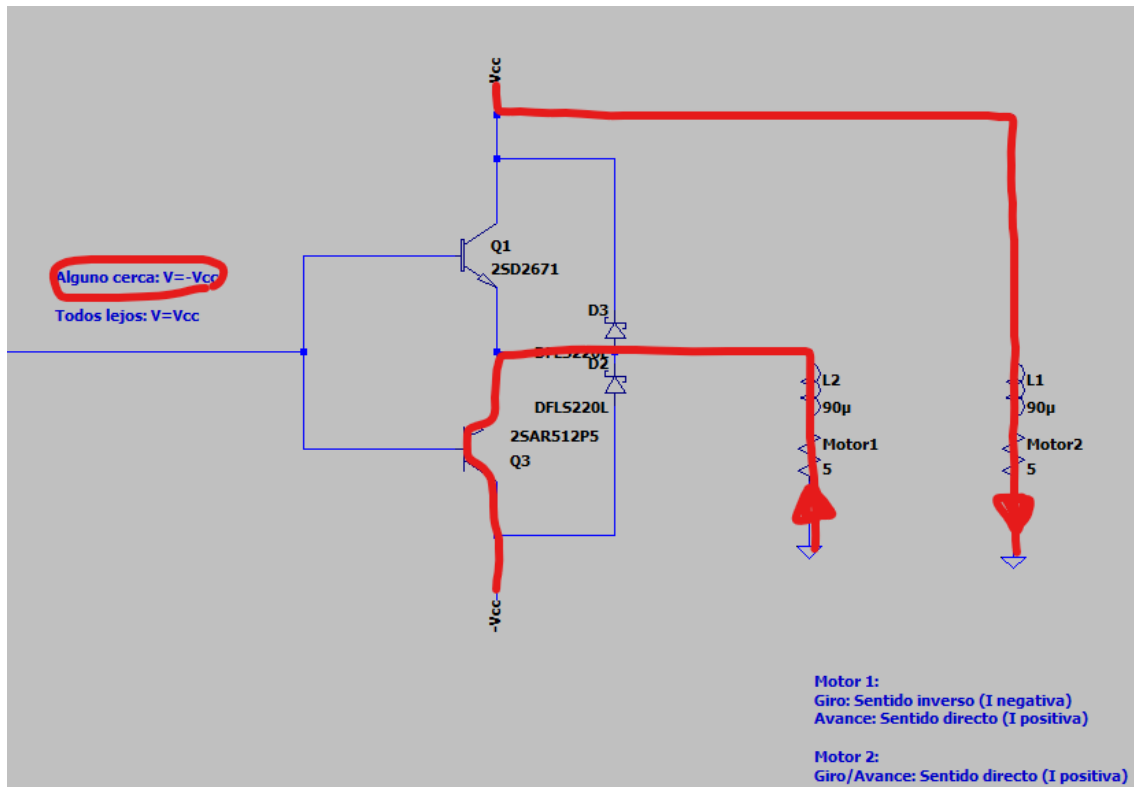


El funcionamiento en el caso de avance se ilustra en la siguiente imagen explicativa:



Al llegar una señal positiva, se abre el conector PNP, sin activar al NPN.

Así como el funcionamiento en modo de giro, en la siguiente imagen:



En este caso es una señal negativa por lo que el NPN se abre y se cierra el circuito por el PNP, al que no le afectan este tipo de señales.

Por último, los diodos en sentido ascendente se añaden a la estructura para garantizar que, en los casos de cambio de dirección de giro, la corriente tenga salida.

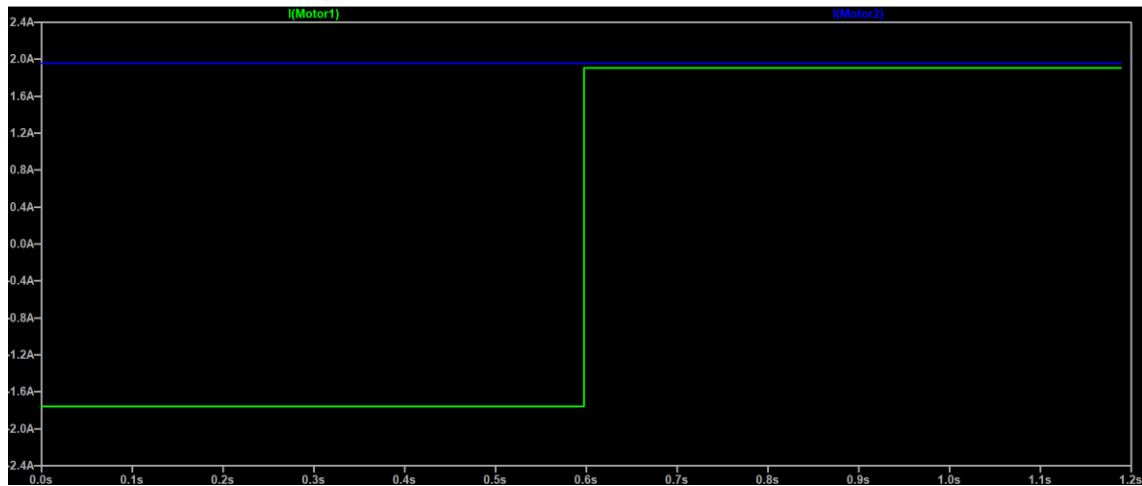
## 12. Pruebas prácticas.

En esta breve sección se probarán distintas configuraciones de uso del sistema para verificar que funciona de acuerdo con las especificaciones requeridas.

### CASO 1. Tres sensores alejados de cualquier objeto.

Se configuran los anchos de pulso con valores por encima del valor consigna de cercanía, de forma que el resultado esperado en la respuesta de los motores es un avance: Ambos motores han de girar en sentido positivo.

Name	Value
Ton1	10000u
Ton2	20000u
Ton3	15000u



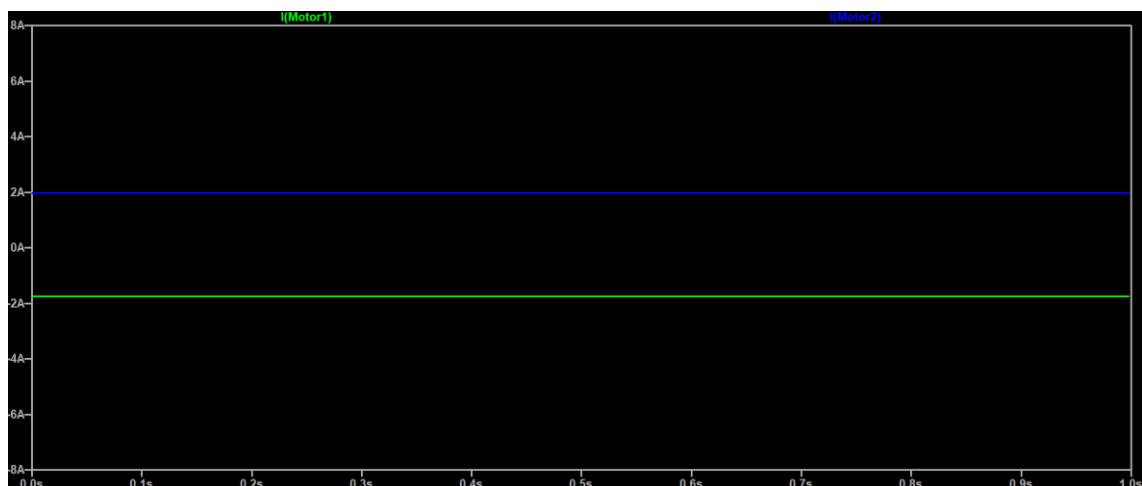
Como se puede observar, las salidas se superponen, lo que indica que ambos motores están girando en el mismo sentido de giro, y que el sistema está controlando el motor conforme a los objetivos establecidos en este trabajo.

## CASO 2. Sensor 2 cercano a un objeto.

Se configura el sensor 2 con un ancho de pulso de 100 microsegundos, por debajo del valor límite:

Name	Value
Ton1	15000u
Ton2	750u
Ton3	12250u

Por lo tanto, el resultado esperado es un giro: Sentido de giro diferente en cada motor.

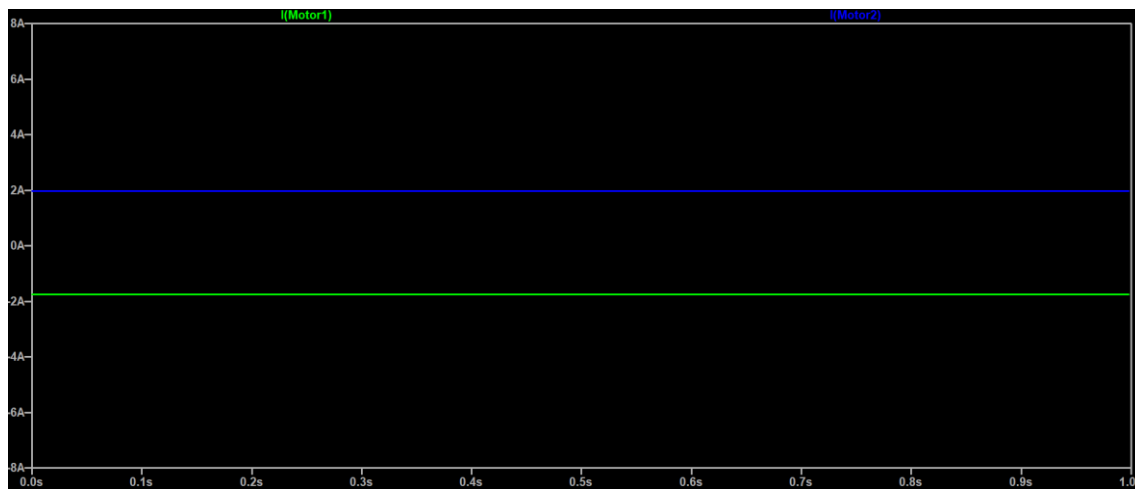


El resultado es el esperado y se considera que el sistema funciona adecuadamente.

### CASO 3. Tres sensores detectan cercanía a algún objeto.

Por último, para confirmar que el sistema funciona adecuadamente, se configuran los anchos de pulso con valores por debajo del valor consigna de cercanía, de forma que el resultado esperado en la respuesta de los motores es un giro hasta que la situación cambie: Los motores han de girar con sentido de giro contrario.

Name	Value
Ton1	750u
Ton2	900u
Ton3	1000u



Como se puede observar, el sistema genera un comportamiento de giro, por lo que se confirma que el sistema diseñado cumple con las prestaciones requeridas

## 13. Resultados y conclusiones

Con este último paso en el que se ha simulado el funcionamiento del motor se da por finalizado el trabajo, consiguiendo el objetivo de simular el funcionamiento de un robot aspiradora mediante el tratamiento de señales con circuitos electrónicos.

El proceso comenzó produciendo una señal cuadrada de acuerdo a las directrices que regían el funcionamiento de la máquina, variando el número de ciclos en función de la distancia a la que se encuentre el obstáculo detectado. Con la señal creada, se le introdujo ruido para que el circuito simulado se asemejara más a la realidad por poder aparecer factores externos que dañen la señal. Después de filtrar el ruido, se pasó la señal a corriente continua y se elaboró una lógica de control para dirigir el funcionamiento del robot a través de los motores establecidos en el puente h.

Ha sido un trabajo fundamentalmente práctico en el que se ha simulado el comportamiento de un gran número de estructuras electrónicas, pero siempre soportado por un fuerte fundamento teórico. A lo largo de este trabajo se ha trabajado con optoacopladores, filtros de diversos órdenes, inversores, diodos Zener, sumadores, seguidores de intensidad y de corriente, señal cuadrada y continua. Además, ha tenido un componente de investigación por vernos obligados a trabajar con estructuras nuevas para nosotros como el puente H. Por otro lado, la lógica de control elaborada nos ha conducido a poder a la máquina en el amplio contexto de situaciones que se puedan dar a lo largo de su funcionamiento, logrando finalmente el objetivo exigido en este trabajo.



## Referencias

[1] Sensor ultrasonido HC – SR04 – Naylamp Mechatronics.

<https://naylampmechanics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html>

[2] Mouser Electronics, «CNY17-1 Datasheet,»

<https://www.mouser.es/datasheet/2/427/cny17-1767437.pdf>

[3] Zhaowei Micro Drive Systems Manufacturer

<https://es.zwgearbox.com/blog/technical-parameters-geared-motors-robot-vacuum>

[4] Advanced Motion Control

<https://www.a-m-c.com/es/experiencia/technologies/power-devices/puente-h/>

[5] LT 1352 Amplifier Datasheet

<https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/695960/LINER/LT1352.html>

[6] LT 1716 Amplifier datasheet

<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/LT1716.pdf>

[7] Motor corriente continua FAULHABER 2657 XR

[https://www.faulhaber.com/fileadmin/Import/Media/EN\\_2657\\_CXR\\_DFF.pdf](https://www.faulhaber.com/fileadmin/Import/Media/EN_2657_CXR_DFF.pdf)

## ANEXO 1. Elección de componentes para el circuito real.

Durante la redacción de este trabajo en la memoria, se ha omitido la elección de los componentes escogidos para desempeñar cada función. Amplificadores operacionales, transistores, diodos Zener... En todos estos elementos se ha escogido un modelo real que se ha implementado en LTSPICE como el modelo real, de forma que la simulación incluye el comportamiento real de estos modelos.

Debido a su importancia como actividad propia, se ha decidido dedicar un anexo completo a la elección de estos elementos, cuya elección se justifica en este anexo.

### Elección de amplificadores operacionales: Acondicionamiento, filtrado y paso a continua, y tensiones de referencia, y lógica de control. LT 1352.

Para las etapas de acondicionamiento, filtrado y paso a continua, generación de tensiones de referencia, así como las operaciones lógicas para dominar el motor, se busca un amplificador que ha de cumplir con los siguientes requisitos:

- No saturar a la corriente máxima de  $I_{max} = \frac{V_{cc}}{10k\Omega} = 1.2mA$ , que es la intensidad máxima que un amplificador proporcional deberá proporcionar en el circuito. Para tener un margen de seguridad, se busca un amplificador capaz de proporcionar una intensidad notablemente superior sin saturar, de forma que no haya que añadir una estructura de amplificación de corriente mediante transistores.
- Ancho de banda suficientemente amplio. El ancho de banda debe estar notablemente por encima de las frecuencias con las que se trabaja (alrededor de los 1Hz-5.000Hz).
- Errores bajos (offset,

Teniendo en cuenta estos requisitos, se escoge el amplificador **LT1352** para todos los amplificadores operacionales de las etapas de acondicionamiento, filtrado y paso a continua. Entre sus características principales, se destaca:

- 250mA de corriente de saturación.
- 3MHz de ancho de banda
- 200V/us de reacción.
- Errores considerablemente bajos.

Además, su propia hoja de datos especifica que sus aplicaciones recomendadas incluyen filtros, por lo que se considera un amplificador óptimo para estas etapas.

### Elección de amplificadores operacionales: Comparadores.

Para la elección de los amplificadores operacionales que comparan la tensión de continua con el nivel de referencia, se ha optado por un modelo más específico: LT 1716.

Entre sus características principales, se encuentra un error de offset de 1.5mV, que, para nuestro rango de funcionamiento se considera muy adecuado, por lo que se decide optar por este amplificador para los comparadores del circuito.

### Elección de diodo Zener

Como se explicó en la memoria, se utiliza un diodo Zener para generar una tensión constante que sirva de referencia. Debido a que se genera una tensión de 10V, se escoge el diodo Rohm EDZV10B de 10V.

### Elección de diodos

Los diodos que se encuentran en la estructura del motor sirven como camino alternativo de la corriente cuando se produce un cambio en la polaridad y su función principal es proteger a las inductancias de los motores de estos cambios bruscos.

De acuerdo con las impedancias elegidas, la corriente que circulará por el motor será de 1.8 A y por ello se ha elegido el modelo DFSL220L con un valor de corriente media de avance de 2A. Este parámetro indica el valor de la corriente promedio máxima que puede pasar a través del diodo de forma continua sin dañar sus componentes. La tensión de ruptura del diodo serán 20V y en ningún caso se superará en este circuito.

### Elección de transistores

Por último, los transistores elegidos también deberán adecuarse a la tensión máxima que han de soportar y la corriente máxima que circula por ellos. Tanto el transistor de tipo NPN como el PNP se han elegido con una corriente de colector de 2A. La  $V_{ceo}$  (Voltage Collector-Emitter Open) representa la tensión máxima que se puede dar entre el colector y el emisor cuando el transistor se encuentra abierto y para ambos transistores tendrá un valor de 30V.

Cumpliendo las especificaciones descritas anteriormente, los modelos de transistores elegidos son el 2SD2671 para el NPN y el 2SAR512P5 para el PNP.