

TEMA 7: Transistores FET e introducción a los Circuitos Integrados**OBJETIVOS**

Vamos a finalizar el área de prácticas de este curso de Electrónica Básica con una serie de circuitos muy básicos que nos permitan experimentar con los transistores FET, circuitos estabilizadores, comparadores, amplificadores operacionales y circuitos de temporización.

RELACIÓN DE MATERIALES

1 x Entrenador Universal Trainer V3 (o plataforma equivalente)

1 x Polímetro digital (o analógico)

1 x Osciloscopio (no es imprescindible pero sí aconsejable)

Cables de conexión

Resistencias de carbón de 1/4W: 4 x 1K Ω ; 1 x 2K2; 1 x 4K7; 3 x 10K Ω ; 2 x 100K; 1 x 270K; 1 x 1M Ω ;

Condensadores: 1 x 10 nF; 1 x 100 nF; 1 x 1000nF; 4 x 10 μ F; 1 x 100 μ F

Semiconductores: 4 x diodos 1N4007; 1 x N-MOSFET BS170;

C. Integrados: 1 x 78L05; 1 x 79L05; 1 x LM393B; 1 x LM358; 1 x LM555

Optoelectrónica: 1 x led verde de 5 mm

Varios: 1 x Lámpara 12V; 1 x Resistencia LDR

INDICE GENERAL**P1: TRANSISTOR NMOSFET BS170**

P1-1 Circuito experimental

P1-2 Transistor en conmutación

P1-3 Sencillo circuito de temporización

P2: ESTABILIZACIÓN

P2-1 Estabilización con el 78L05

P2-2 Estabilización con el 78L09

P2-3 Fuente de alimentación estabilizada simétrica

P2-4 ¿Sabías que...?

P3 COMPARADORES

P3-1 Comparando tensiones

P3-2 Circuito sensible a la luz

P4 AMPLIFICADORES OPERACIONALES

P4-1 Amplificador inversor

P4-2 Amplificador no inversor

P4-3 Sumador inversor

P4-4 Sumador no inversor

P4-5 Restador

P5 EL TEMPORIZADOR LM555

P5-1 Monoestable

P5-2 Inestable o Astable

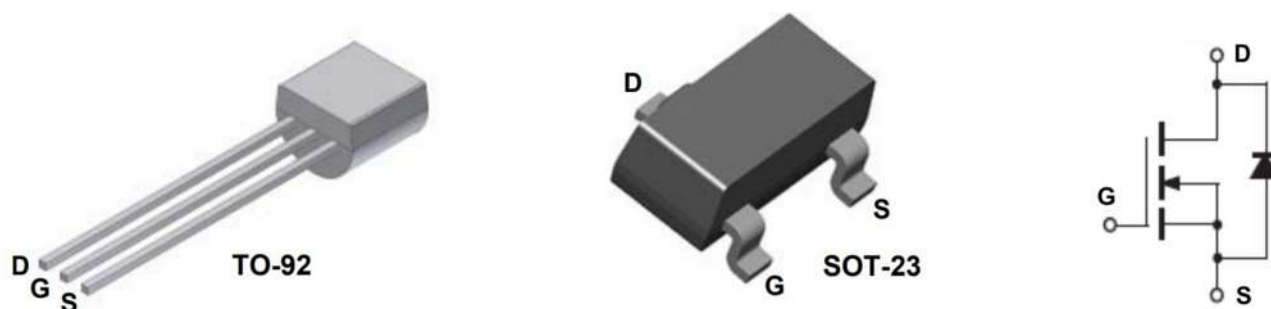
P5-3 Oscilador controlador por tensión

P5-4 Circuito inversor de tensión

TEMA 7: Transistores FET e introducción a los Circuitos Integrados

P1: TRANSISTOR NMOSFET BS170

Se trata de un transistor NMOSFET de enriquecimiento que lo puedes encontrar en encapsulado TO-92 (Through Hole) o en SOT-23 para montaje superficial (SMD), e integra un diodo de protección como puedes ver en la figura.



En la tabla se muestra una serie de parámetros básicos con los valores máximos de trabajo admitidos.

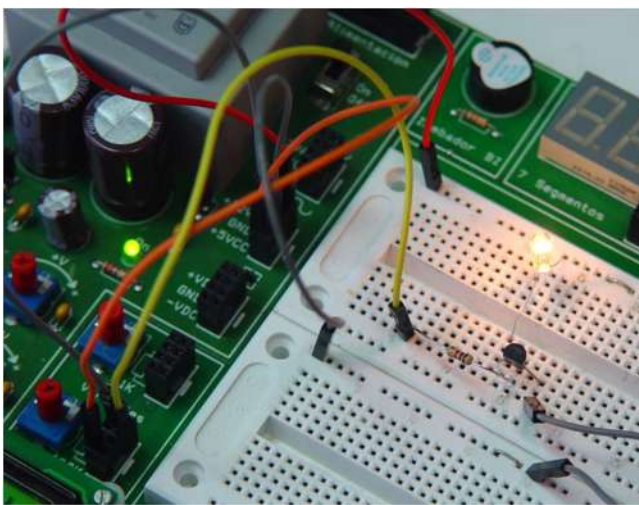
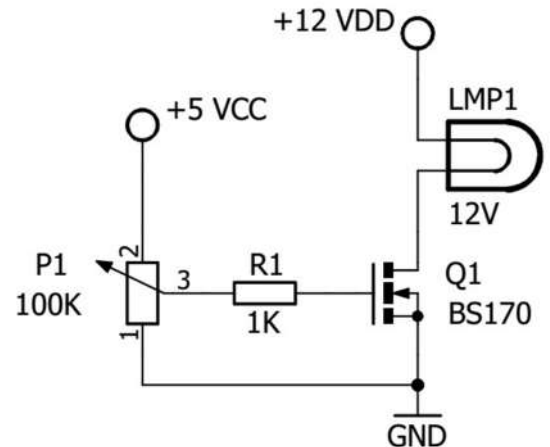
SÍMBOLO	PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
VDSS	Tensión Drenador-Surtidor	60	V
VDGR	Tensión Drenador-Puerta	60	V
VGSS	Tensión Puerta-Surtidor	± 20	V
ID	Intensidad de drenador	500	mA
Tj, TSTG	Temperatura de almacenamiento y/o de operación	-55 a 150	°C

En este tipo de transistor NMOSFET la corriente (I_D) fluye de surtidor (S) a drenador (D) y se controla mediante la tensión positiva aplicada en la puerta (G). Si la tensión en $G \leq 0V$ el canal N es aislante y el transistor está bloqueado, en el punto de corte y la intensidad $I_D = 0$. En la medida que esa tensión aumenta, $G > 0$, el canal N se hace conductor y la intensidad comienza a fluir, $I_D > 0$.

Si fuera un transistor de canal P (PMOSFET) la tensión en la puerta G debiera de ser negativa respecto al surtidor.

P1-1 Circuito experimental

El circuito propuesto en esta práctica te permitirá analizar el funcionamiento de un transistor NMOSFET de enriquecimiento y comprobar una de las características que lo diferencian notablemente de los transistores bipolares BJT.



Mediante P1 variamos la tensión en la puerta (V_G). En función de ella el transistor Q1 conducirá una mayor o menor intensidad por su drenador (I_D), y la lámpara lucirá con más o menos brillo. Monta el circuito y realiza las medidas y cálculos necesarios para completar la tabla. En esta ocasión te sugiero que la intensidad I_D la midas con el amperímetro directamente. Presta atención e intercálalo en serie entre el drenador y la lámpara.

Otra solución puede ser que midas la resistencia del filamento de la bombilla. De esta manera la intensidad I_D la puedes calcular como se te ha sugerido en otras ocasiones en lugar de medirla. Ocurre sin embargo que la resistencia de un filamento varía y no es del mismo valor cuando está apagado que cuando está encendido al rojo vivo. En cualquier caso se trata simplemente de comprobar cómo la intensidad de salida I_D aumenta conforma aumenta la tensión de entrada V_g .

V_G	0	0.5	1	1.5	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.5
VR1												
IR1=IG												
VD												
VLMP1												
ID												

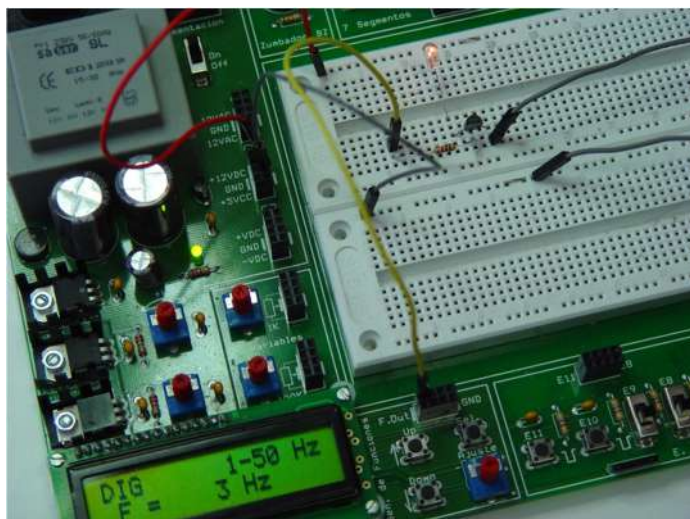
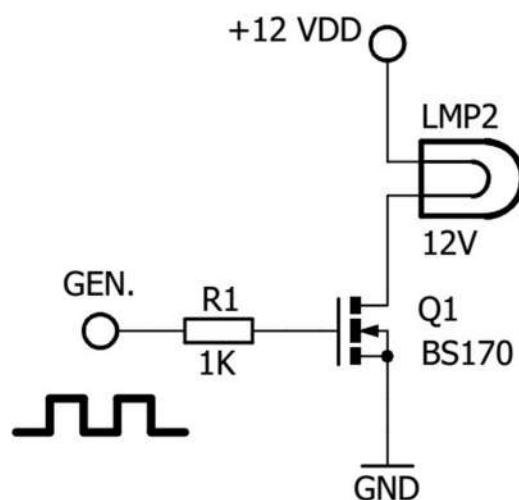
Observa estos detalles...

- La intensidad de salida por el drenador, I_D , se controla mediante la tensión de entrada por la puerta, V_G .
- Aunque la tensión de entrada por la puerta, V_G , aumente, la tensión en la resistencia R_1 es siempre de 0V. Se deduce por tanto que $I_{R1} = 0$. No existe intensidad de entrada, $I_G = 0$.
- Conforme aumenta I_D , la tensión V_D en el drenador va disminuyendo al tiempo que la tensión en la lámpara de carga $VLMP1$ va aumentando. Es análogo a lo que ocurría entre la I_c y la V_{ce} de los transistores bipolares BJT.
- En un momento dado la tensión V_D es de 0 V y la I_D la máxima. Esto no varía aunque la tensión de entrada V_G siga aumentando. El transistor está en el punto de saturación y es análogo a lo que ocurría con los transistores bipolares BJT.

P1-2 Transistor en conmutación

Un circuito típico empleado en los sistemas digitales. Cuando el transistor conduce lo hace en el punto de saturación. I_D es la máxima y $V_{DS} = 0V$. Cuando el transistor está bloqueado se encuentra en el punto de corte $I_D = 0$ y $V_{DS} = V_{DD}$.

En este ejemplo usamos el generador del entrenador que proporciona una señal de onda cuadrada de +5VCC, para activar o no a una lámpara de carga que trabaja a 12VDD, mediante el transistor NMOSFET modelo BS170.

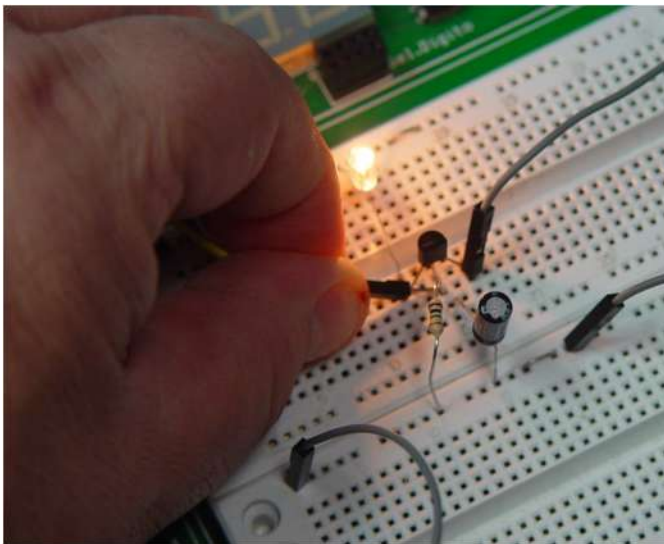
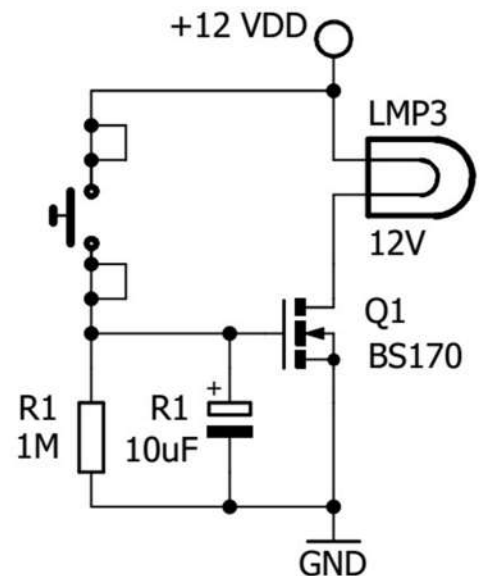


Se usa mucho en los circuitos basados en controladores como ARDUINO, PIC, STAMP, etc... Las pequeñas señales de disparo que generan estos dispositivos bajo el control de un programa, de unos 3 a 5 V, se aplican a un transistor para que éste a su vez active dispositivos tales como lámparas, relés, electroválvulas, etc... que trabajan con tensiones y corrientes muy superiores.

P1-3 Sencillo circuito de temporización

Aquí tienes un sencillo ejemplo práctico con el transistor N-MOSFET modelo BS170. Consiste en un temporizador al que estoy seguro le buscarás alguna utilidad. Cuando conectas momentáneamente (p.e. accionando un pulsador) la puerta G con $+12\text{ VDD}$, el transistor conduce en saturación, la bombilla se ilumina y el condensador $C1$ se carga con $+12\text{VDD}$.

Al desconectar la puerta G de los $+12\text{VDD}$ (p.e. soltando el pulsador), el transistor se mantiene activado gracias a la tensión acumulada por el condensador $C1$. Sin embargo éste se va descargando a través de $R1$. Transcurrido un tiempo llega un momento en que su tensión no es suficiente como para que la puerta G mantenga activado al transistor. Este se bloquea y la lámpara se apaga.



Te hago notar un detalle importante. El tiempo t que tarda en descargarse el condensador depende en exclusiva de su valor y del de la resistencia. No hay ningún tipo de descarga a través de la puerta (G) y del surtidor (S) ya que en un MOS ambos están aislados entre sí. En este sentido el transistor es como si no estuviera.

Con un cronómetro y un polímetro puedes medir el tiempo que tarda en apagarse la bombilla y con qué tensión en la puerta, V_G , ocurre. Puedes probar con varios condensadores y completar la siguiente tabla.

CONDENSADOR	TIEMPO DE APAGADO	V_G DE APAGADO
100 nF		
1000 nF / 1µF		
10 µF		

P2: ESTABILIZACIÓN

Uno de los circuitos integrados más usados en todo tipo de aplicaciones y sistemas electrónicos son los llamados circuitos de estabilización/regulación. Reciben a su entrada una tensión continua sin estabilizar, y devuelven a su salida otra tensión estabilizada a un determinado valor, tanto en voltios como en corriente. Tanto las tensiones de salida como de entrada pueden ser positivas o negativas respecto a tierra o GND.

Las circuitos de las series 78XX/79XX probablemente sean los más conocidos. Los puedes encontrar con diferentes valores de tensión de salida (V_o), a partir de una tensión de entrada comprendida entre un mínimo ($V_i \text{ min}$) y un máximo ($V_i \text{ máx}$). En la tabla tienes unos cuantos modelos.

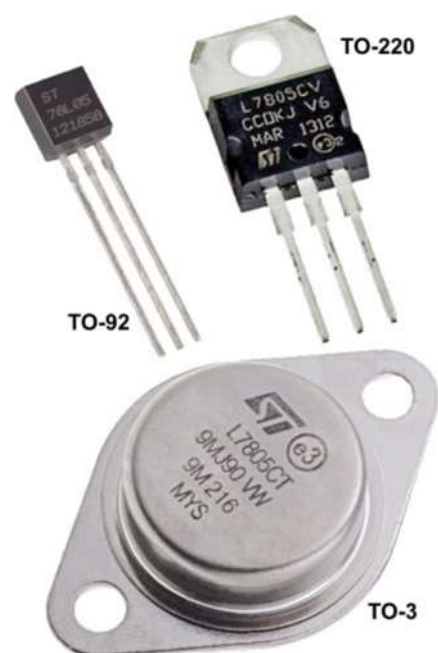
Si te fijas bien, los dos últimos dígitos de cada modelo indican el valor de la tensión de salida.

MODELO	V_o	$V_i(\text{min})$	$V_i(\text{max})$
7805	5	7	35
7806	6	8	35
7808	8	10	35
7809	9	11	35
7810	10	12	35
7812	12	14	35
7815	15	17	35
7818	18	20	35
7824	24	26	40
79XX	Los mismos valores pero en tensión negativa respecto a GND		

También los puedes encontrar pequeños y económicos capaces de soportar unos pocos miliamperios de corriente de salida, y otros más grandes y caros que proporcionan corrientes que superan el amperio. El tipo de encapsulado te puede dar una idea a simple vista de cuál es cuál. Mira la figura y la tabla adjunta.

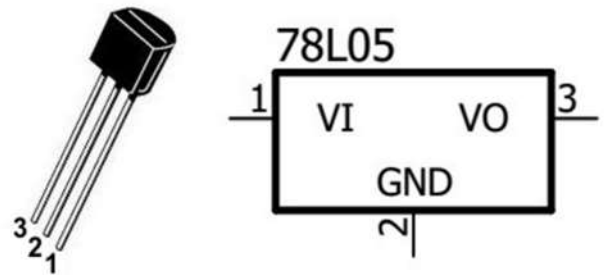
MODELO	I MAX. (A)	CÁPSULA
78LXX - 79LXX	0.1 A	TO-92
78MXX - 79MXX	0.5 A	TO-92/TO-220
78XX - 79XX	1 A	TO-220
78SXX - 79SXX	2 A	TO-3
78TXX - 79TXX	3 A	TO-3

NOTA: Aunque estos estabilizadores proporcionan tensiones fijas de salida, que sepas que los hay que proporcionan tensiones variables o ajustables



P2-1 Estabilización con el 78L05

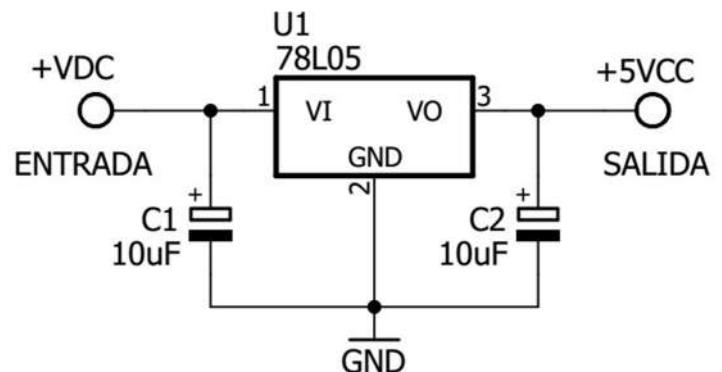
En esta práctica vamos a emplear el circuito estabilizador modelo 78L05. Su símbolo y distribución de patillas puedes verlo en la figura. Se trata de un encapsulado TO-92.



Si nos remitimos a las tablas anteriores, vemos que su tensión de salida $V_o = 5V$. La tensión mínima de entrada $V_i(\min) = 7V$, ya que con un valor inferior es imposible que proporcione a la salida $5V$. La tensión máxima de entrada $V_i(\max) = 35V$, con lo que la tensión que debe absorber en este caso sería de $30V$ ($35-5$). Si la superas el dispositivo será incapaz de absorberla y se destruirá.

En la figura tienes el esquema del circuito típico. A la entrada se le aplica una tensión de entrada sin estabilizar. Se supone que esta tensión de entrada proviene de un sistema a base de transformador + rectificador + filtro,

como los que usaste en algunos circuitos prácticos del tema 5. Tenemos así una fuente de alimentación de $+5V$ completa: **Transformador + Rectificador + Filtro + Estabilización.**

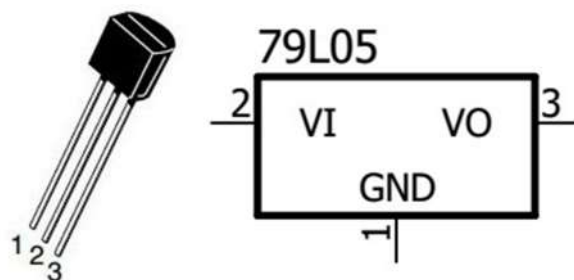


En este ejemplo, para no tener que volver a repetir el montaje de los circuitos rectificadores de prácticas anteriores, vamos a usar la tensión variable $+VDC$ que proporciona nuestro laboratorio. Con ella simulamos una tensión de entrada sin estabilizar que oscila entre $+1.5V$ y $+18V$ aproximadamente. Monta el circuito y completa la tabla. Verás rápidamente en qué consiste el efecto estabilización y cómo responden estos circuitos integrados.

+VDC	2	3	4	5	7	9	11	13
+5VCC								

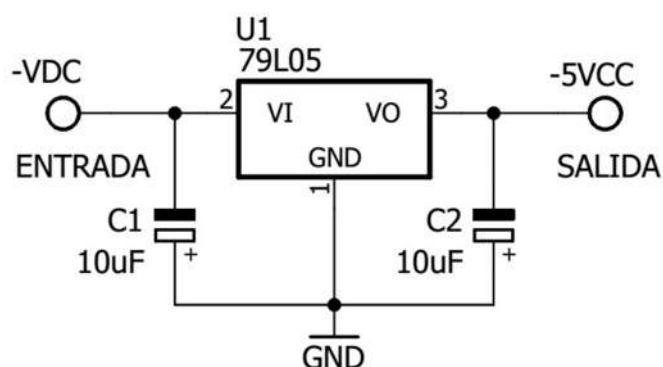
P2-2 Estabilización con el 79L05

En esta otra práctica vamos a emplear el circuito estabilizador modelo 79L05. Su símbolo y distribución de patillas puedes verlo en la figura. Presta atención. Aunque usa el mismo encapsulado TO-92, la distribución de las patillas no es la misma que en su homólogo 78L05.



Si nos remitimos a las tablas anteriores, deducimos que su tensión de salida es negativa $V_o = -5V$. La tensión mínima de entrada $V_i(\min) = -7V$, ya que con un valor inferior es imposible que proporcione a la salida $-5V$. La tensión negativa máxima de entrada $V_i(\max) = -35V$.

En la figura tienes el esquema del circuito típico. A la entrada se le aplica una tensión



de entrada negativa respecto a GND y sin estabilizar. Se supone que esta tensión de entrada proviene de otro sistema a base de transformador + rectificador + filtro. Tenemos así una fuente de alimentación de $-5V$ completa y compuesta de: **Transformador + Rectificador + Filtro + Estabilización.**

Presta atención a los condensadores electrolíticos. No la lées o los romperás. Ten en cuenta que ahora la referencia GND es positiva respecto a $-VDC$ y $-5VCC$, y en ella debes conectar las armaduras positivas de ambos condensadores.

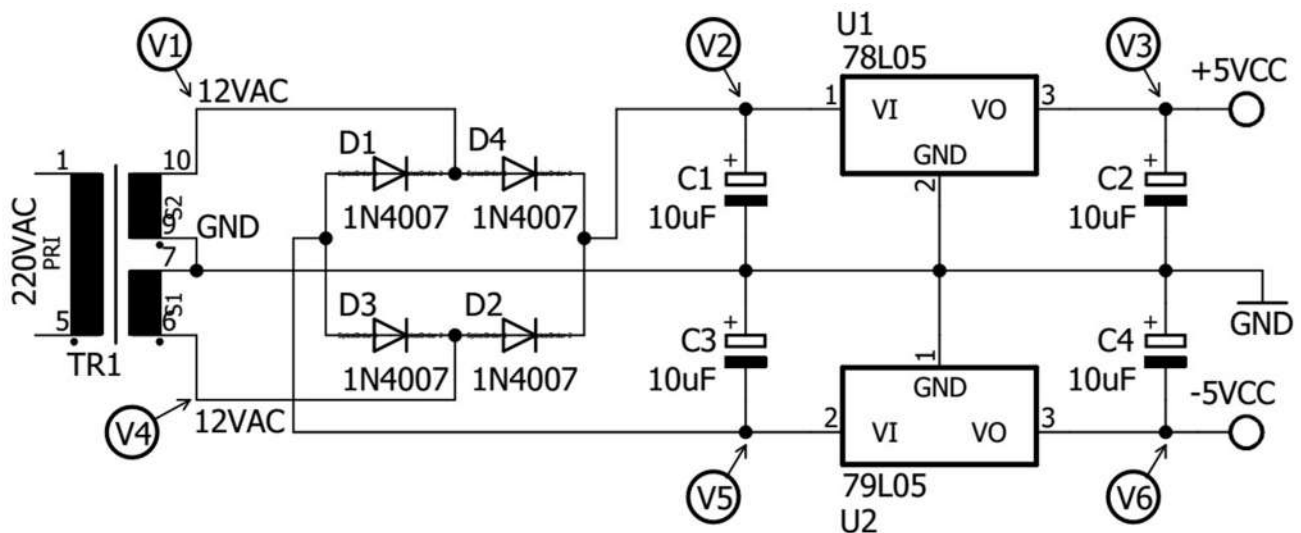
En la práctica vamos a usar la otra tensión variable $-VDC$ que proporciona el laboratorio. Con ella simulamos una tensión negativa de entrada sin estabilizar que oscila entre $-1.5V$ y $-18V$ aproximadamente. Monta el circuito y completa nuevamente esta tabla similar a la anterior.

-VDC	2	3	4	5	7	9	11	13
-5VCC								

P2-3 Fuente de alimentación estabilizada simétrica

Una fuente de alimentación simétrica es aquella que proporciona una misma tensión pero con ambas polaridades, por ejemplo, $\pm 5\text{ V}$, $\pm 9\text{ V}$, $\pm 12\text{ V}$, etc... Suelen tener bastante interés en electrónica analógica, con los amplificadores operacionales entre otros.

Según lo visto, el montaje de una fuente de alimentación simétrica estabilizada no es demasiado complejo. En el esquema de la figura dispones de una fuente de alimentación completa, simétrica y estabilizada de $\pm 5\text{ V}$. Es la forma más básica a la que se le podrían añadir condensadores de desacoplo, fusible y varistor de protección, etc...



Emplea el secundario del transformador del laboratorio Universal Trainer. Su toma central forma la señal GND de 0 V. Sus extremos 12VAC se conectan con el puente de Graetz formado por los diodos D1-D4, que proporcionan una pulsatoria positiva y negativa filtradas por C1 y C3 respectivamente. Ojo con la polaridad de los condensadores.

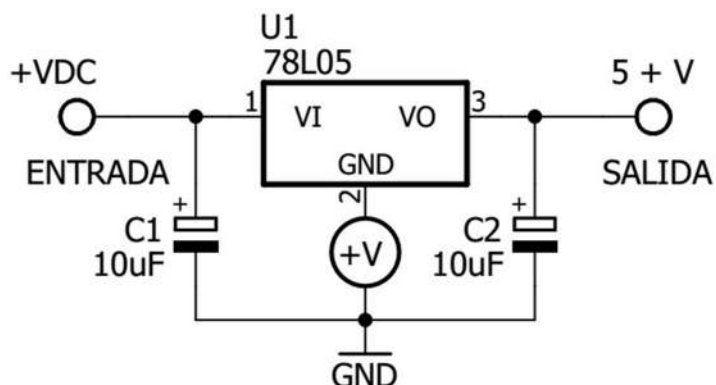
La tensión positiva sin estabilizar se aplica al estabilizador U1 y la negativa a U2. En la salida de ambos tenemos, respecto a GND, una tensión de +5VCC y de -5VCC estabilizados. Anímate a montar el circuito y completar la siguiente tabla con los valores de las tensiones indicadas.

V1 (ACV)	V2 (DCV)	V3 (DCV)	V4 (ACV)	V5 (DCV)	V6 (DCV)

P2-4 ¿Sabías que...?

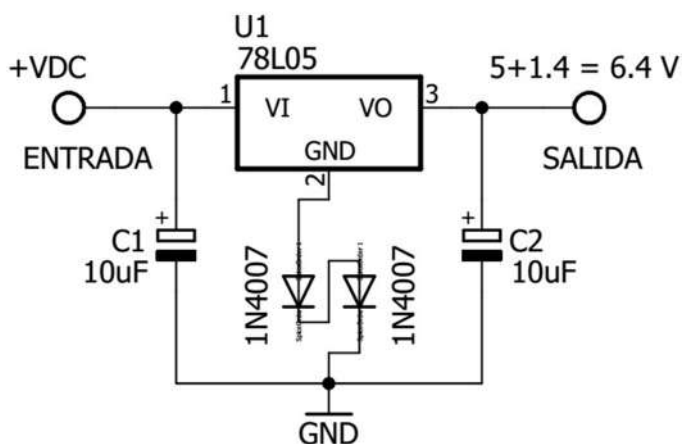
La tensión de salida de estos circuitos estabilizadores se dice que es fija cuando la patilla GND se conecta con 0V. Pero... ¿qué pasa si a la patilla GND en lugar de conectar a 0 V le aplicas una tensión? Pues que la tensión de salida es el resultado de sumar la propia del circuito estabilizador más la tensión que aplicas por su patilla GND.

Mira el esquema. Imagina que por la patilla GND aplicas una tensión de +2V, pues bien, esa tensión se suma a la tensión nominal del circuito estabilizador. Como este se trata de un 78L05, la tensión en la salida será de $5 + 2 = 7V$. Obviamente la tensión de entrada +VDC debe de ser mayor que la que se desea obtener.



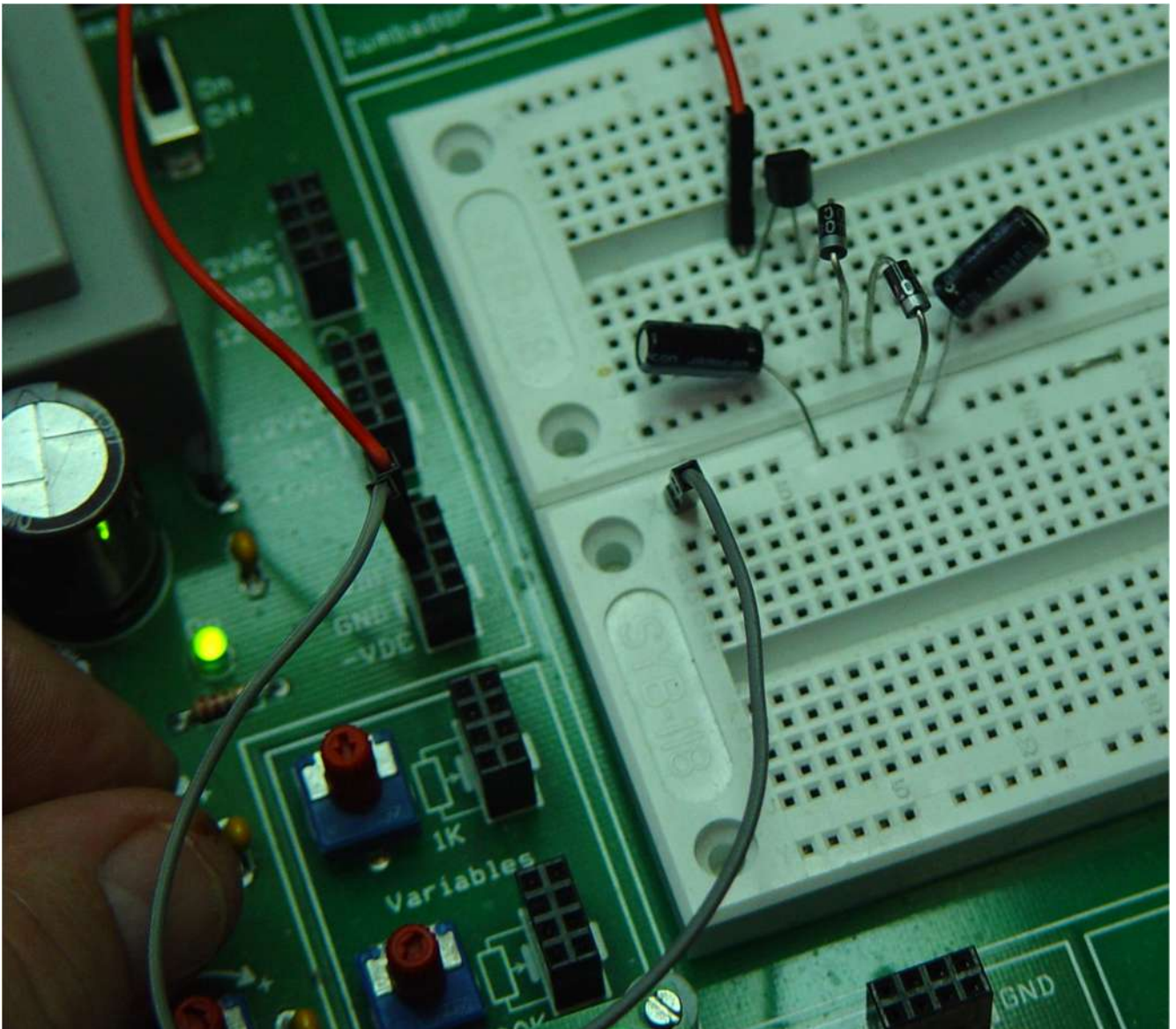
Entre la patilla 2 del estabilizador y GND podemos poner una sencilla resistencia. ¿Cómo se calcula su valor? Bien, si conoces la intensidad que consume la carga, por ejemplo, 50 mA, y la tensión que quieres que absorba, por ejemplo 2 V, te basta con aplicar la ley de ohm: $R = \frac{V}{I} = \frac{2}{0.05} = 40\Omega$

Sin embargo esto presenta un problema. ¿Qué pasa si aumenta el consumo de la carga de 50 mA a 75 mA? Pues que la tensión en esa misma resistencia también aumenta ya que: $V = R \times I = 40 \times 0.075 = 3V$, luego la tensión de salida será de $5 + 3 = 8V$. No parece que sea una tensión muy estabilizada ¿verdad?.



En lugar de la resistencia mejor si usas uno o varios diodos como puedes ver en el esquema. Están en serie y polarizados directamente. Sabemos que la tensión de umbral de cada diodo es de unos 0.7V e independiente de la intensidad que lo recorre. En este caso la tensión de salida es: $5 + 0.7 + 0.7 = 6.4V$.

Monta el circuito de la figura y luego completa la tabla.

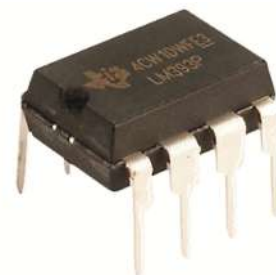
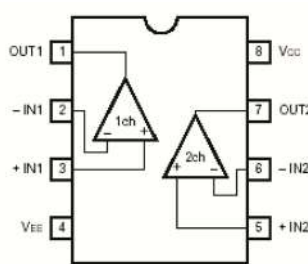
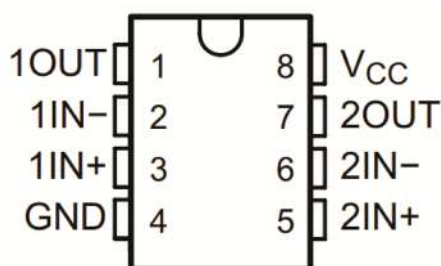


En esta ocasión también vas a medir y anotar la tensión en la patilla 2 del estabilizador, GND, respecto a GND de la alimentación. No te líes.

+VDC	2	3	4	5	7	9	11	13
GND								
+5VCC								

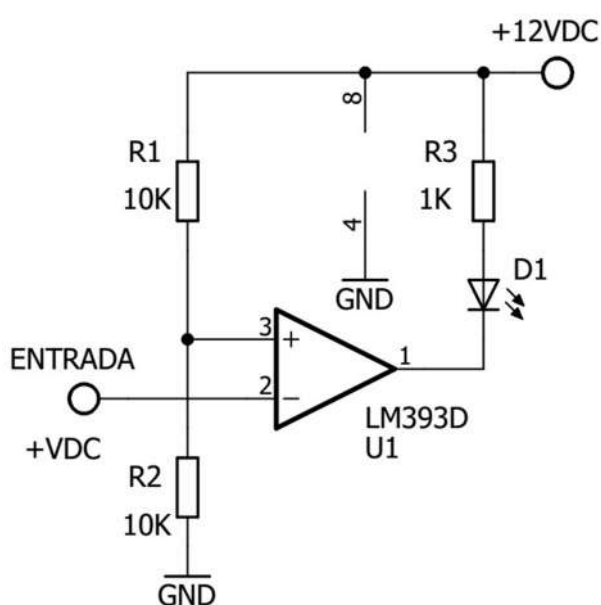
P3: COMPARADORES

En este pequeñísimo resumen de circuitos integrados que estamos haciendo no podían faltar los circuitos comparadores. Circuitos que reciben dos tensiones diferentes, las comparan entre sí y producen una señal de salida en función de cuál de las dos es mayor. De la infinidad de circuitos integrados que realizan esta función, hemos elegido el modelo LM393 por su sencillez, facilidad de adquisición y su bajo precio.



En la imagen puedes ver su encapsulado y distribución de patillas. En su interior integra dos comparadores idénticos e independientes. La salida de cualquiera de ellos es en colector abierto, lo que facilita la conexión directa de pequeñas cargas con una corriente de salida típica de 16 mA. Trabaja con una alimentación simple de 2 a 36 V o simétrica de ± 1 a ± 18 V.

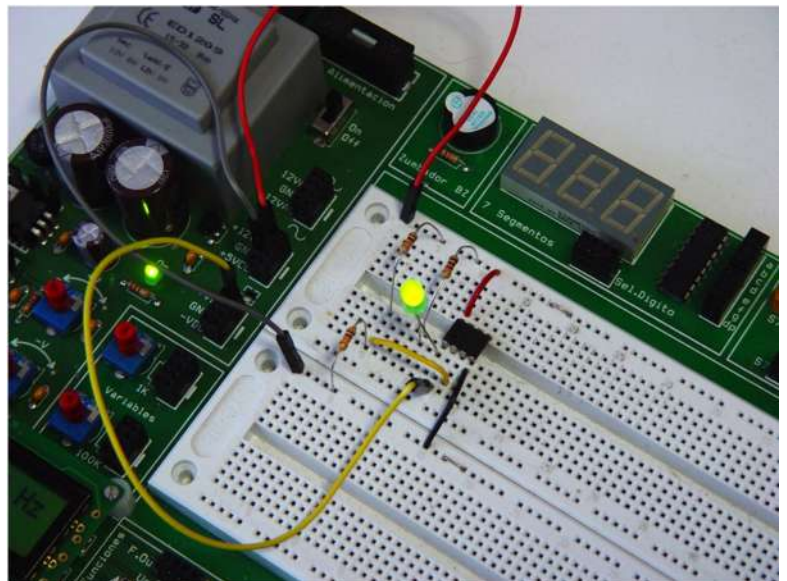
P3-1 Comparando tensiones



Este es el circuito más simple para comprobar el funcionamiento de cualquiera de los dos comparadores que integra.

En primer lugar observa un detalle importante. Al margen de lo que tengas que hacer con el resto de las patillas, todo circuito integrado necesita que le conectes a una tensión de alimentación. En el caso del LM393 esto se realiza por la patilla 8 (+VDD) y 4 (GND). Tenlo siempre presente porque de no hacerlo el circuito nunca realizará su función correctamente.

Por la patilla 3 (1IN+) recibe una tensión fija de referencia procedente de un divisor de tensión formado por las resistencias R1 y R2 de idéntico valor. Como el divisor se alimenta desde los +12VDC, la tensión en la patilla 3 (1IN+) será de la mitad, unos 6 V. La patilla 2 (1IN-) recibe por su parte la tensión variable a comparar. En este ejemplo procede del laboratorio, de la tensión variable +VDC y que varía entre 1.5V y 18 V aproximadamente.



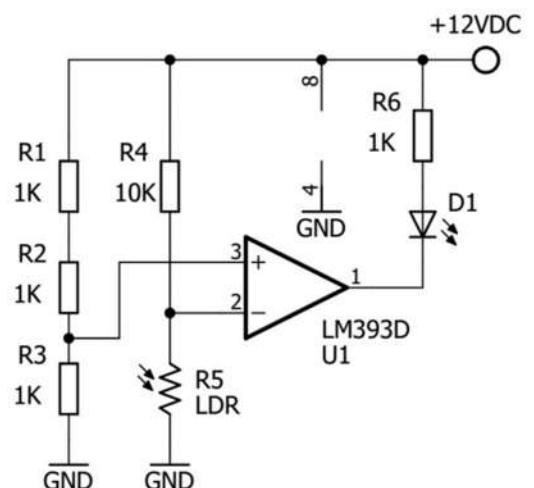
Bien, cuando la tensión en la patilla 2 (1IN-) sea igual o superior a la fija de referencia de 6V de la patilla 3 (1IN+), la salida del comparador (1OUT) se activa y produce una corriente hacia el positivo de alimentación que ilumina el led D1. En caso contrario, si la tensión en la patilla 2 (1IN-) es menor que la de la patilla 3, el led permanecerá apagado.

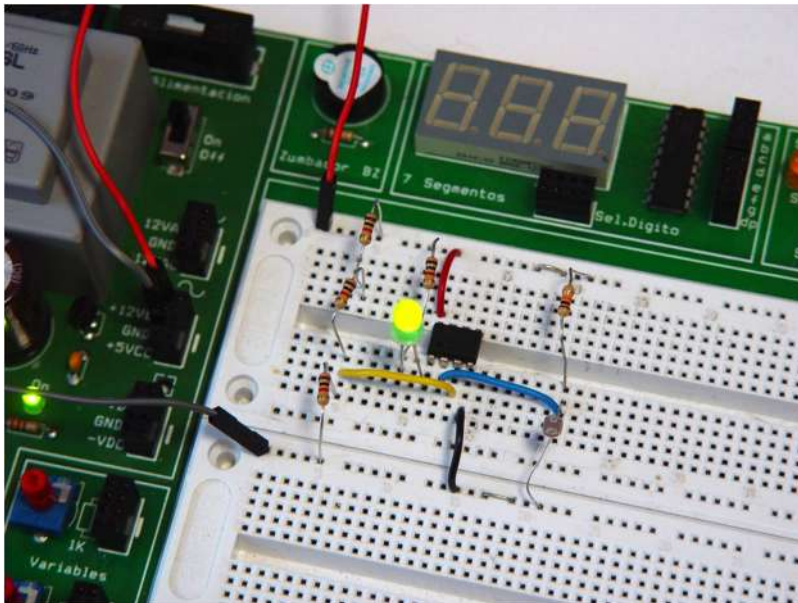
+VDC	Led (ON / OFF)
1.5	
3	
4	
5	
6	
7	

Mide la tensión la patilla 3 (1IN+) y comprueba que está muy próxima a las 6 V, la mitad de la de alimentación. Completa esta tabla indicando el estado del led (ON / OFF) en función de diferentes valores de la tensión en la patilla 2 (1IN-) que ajustarás mediante la fuente de alimentación variable +VDC del laboratorio de prácticas.

P3-2 Circuito sensible a la luz

Aquí tienes un circuito de ejemplo práctico que seguro te sugiere diferentes aplicaciones. Se trata de activar la salida del comparador cuando el nivel de luz ambiente descienda por debajo de un determinado umbral.





R1, R2 y R3 son de idéntico valor y forman un divisor de tensión que suministra una tensión fija de referencia de unos 4 V a la entrada 1IN+ del comparador. Por la entrada 1IN- se aplica la tensión a comparar. Procede del divisor formado por R4 y la célula LDR (R5).

Cuando hay luz suficiente la resistencia de la LDR es de bajo valor. La tensión en la entrada 1IN- es inferior a la tensión en 1IN+ por lo que el led de salida en 1OUT está desactivado. Cuando la luz ambiente disminuye la célula aumenta su resistencia y con ello la tensión aplicada en 1IN-. Esta se hace superior a la tensión en 1IN+ y el comparador activa su salida 1OUT. El led se ilumina. Completa la tabla

MEDIR EN...	A PLENA LUZ	A OSCURAS
1IN+		
1IN-		
VR6		
IR6		

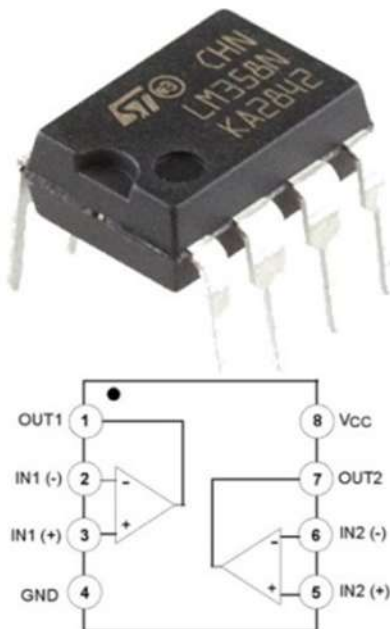
¿Se te ocurre cómo aumentar o disminuir la sensibilidad del circuito? Hay varias formas, pero una muy sencilla, consiste en modificar el valor de R3. Te ayudará a recordar el comportamiento de un divisor de tensión y a verificar el funcionamiento del comparador. Completa esta tabla para diferentes valores de R3 y saca tus propias conclusiones.

MEDIR EN...	R3= 2K2		R3=4K7		R3=10K	
	CON LUZ	OSCURAS	CON LUZ	OSCURAS	CON LUZ	OSCURAS
1IN+						
1IN-						
VR6						
IR6						

P4: AMPLIFICADORES OPERACIONALES

No es el objetivo de este tema, pero debes de saber que los amplificadores operacionales (A.O.) son de gran utilidad en lo que se conoce como "*Electrónica Analógica*". Sin ánimo de ser pretenciosos lo que sí que vamos a hacer en esta práctica es mostrar los circuitos más elementales.

Por supuesto que en el mercado puedes encontrar multitud de modelos de circuitos integrados que contienen amplificadores operacionales con diferentes características. El más histórico, que yo sepa, es el popular uA741, aunque hoy en día se ha visto mejorado y casi sustituido por otros modelos más versátiles y económicos. Es el caso del modelo LM358 que vamos a usar. Lo tienes en la imagen.



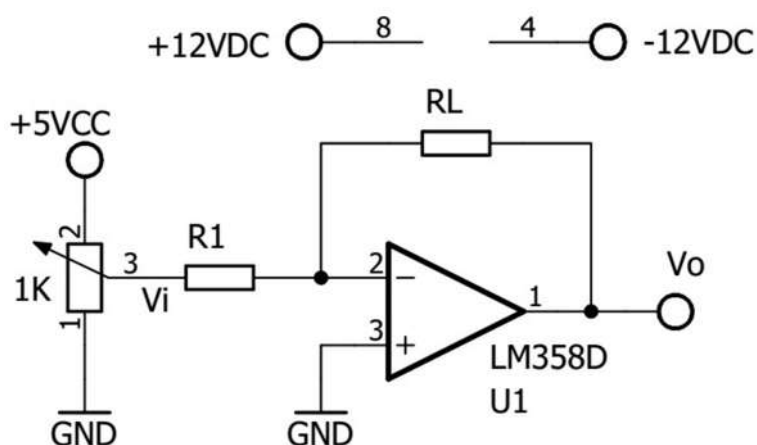
PIN	NOMBRE	DESCRIPCION
1	OUTA	Salida del comparador 1
2	IN1 (-)	Entrada invertida del comparador 1
3	IN1 (+)	Entrada no invertida del comparador 1
4	GND	Tierra de alimentación
5	IN2 (+)	Entrada no invertida del comparador 2
6	IN2 (-)	Entrada invertida del comparador 2
7	OUT2	Salida del comparador 2
8	VCC	Alimentación positiva

Contiene dos amplificadores operacionales idénticos e independientes y se alimenta con una tensión simple desde 3 a 32 V, o simétrica desde de ± 1.5 V a ± 16 V. Cada amplificador consta de:

- Una entrada inversora IN-, otra entrada no inversora IN+ y una salida OUT.
- Un amplificador diferencial de alta impedancia de entrada que compara los valores de ambas señales de entrada.
- Un amplificador de alta ganancia (G) que amplifica la diferencia de la tensión en ambas entradas: $V_o = G (V_+ - V_-)$.
- Un amplificador de corriente de salida con una baja impedancia.

P4-1 Amplificador inversor

Una resistencia de realimentación, R_L , conecta la salida del amplificador con la entrada inversora por donde se introduce la tensión o señal de entrada (V_i) a amplificar.

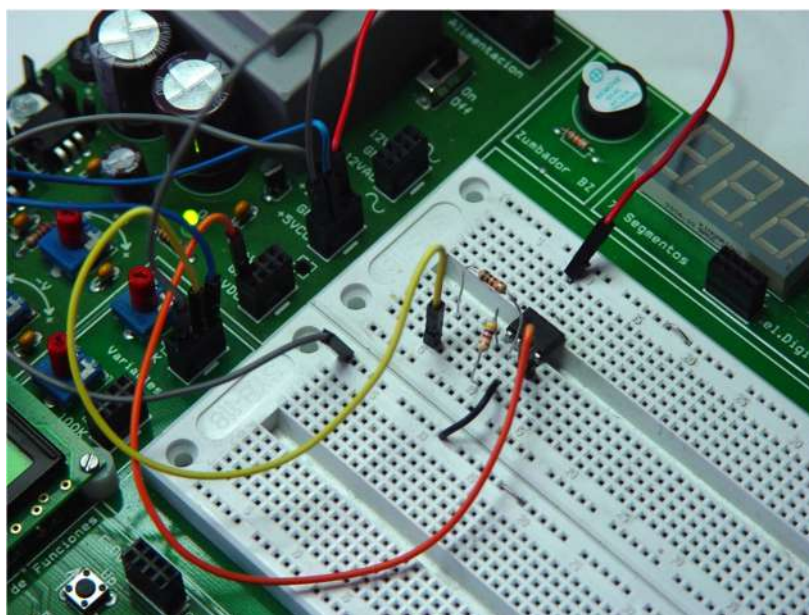


La ganancia o amplificación queda determinada por la relación entre esa resistencia de realimentación R_L y la resistencia de entrada R_1 . La tensión o señal de salida (V_o) está invertida 180° respecto a la señal de entrada y viene determinada por:

$$V_o = - \left(\frac{R_L}{R_1} \right) V_i$$

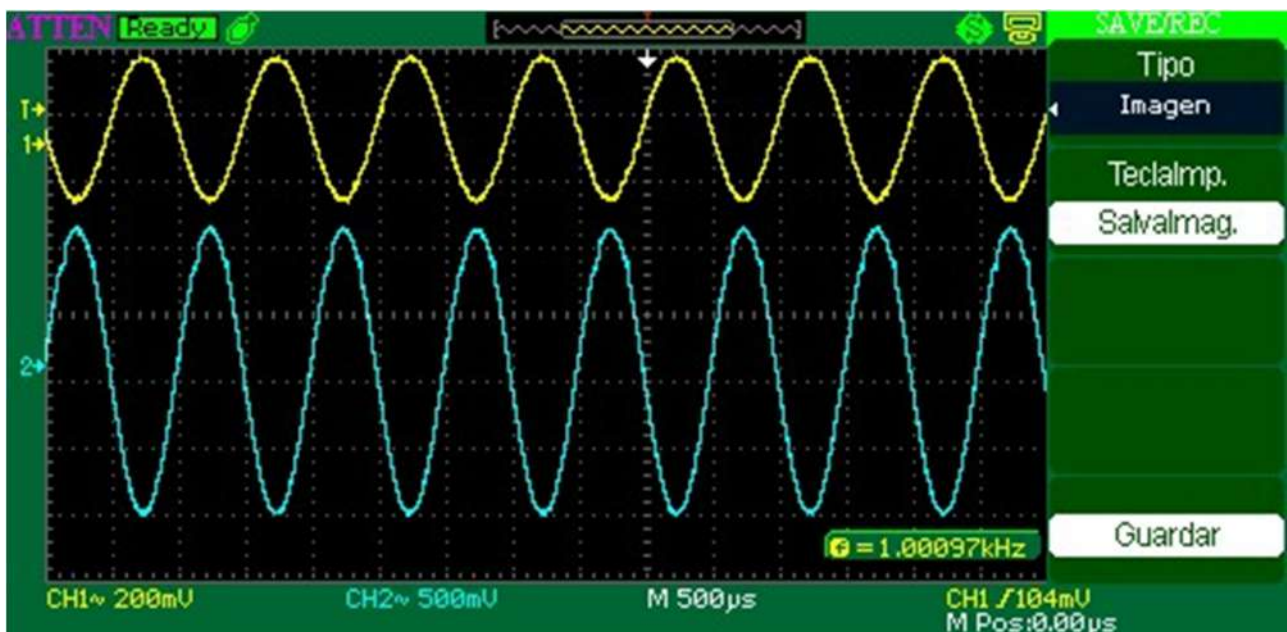
Un detalle. Observa que la alimentación del circuito integrado se realiza por las patillas 8 (+12VDC) y 4 (-12VDC). Estamos alimentándolo mediante una tensión simétrica de ± 12 V. La tensión positiva de +12VDC la puedes sacar directamente de la alimentación fija del laboratorio de prácticas. La tensión negativa de -12VDC la debes ajustar previamente desde la salida de tensión variable negativa -VDC, con el potenciómetro -V, del laboratorio.

Por otra parte, por la entrada invertida del circuito vas a aplicar la tensión de entrada a amplificar (V_i). Esta la puedes variar, mediante el potenciómetro, entre 0 y +5VCC. Una vez realizado el montaje completa la siguiente tabla midiendo y anotando la tensión V_o de salida para diferentes valores de la tensión V_i de entrada, y con diferentes valores de las resistencias R_L y R_1 . ii Atento al signo de la tensión de salida V_o !!



		TENSIÓN DE ENTRADA (Vi)									
RL/R1	Ganancia	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
4K7/1K											
10K/4K7											
10K/10K											
1K/4K7											

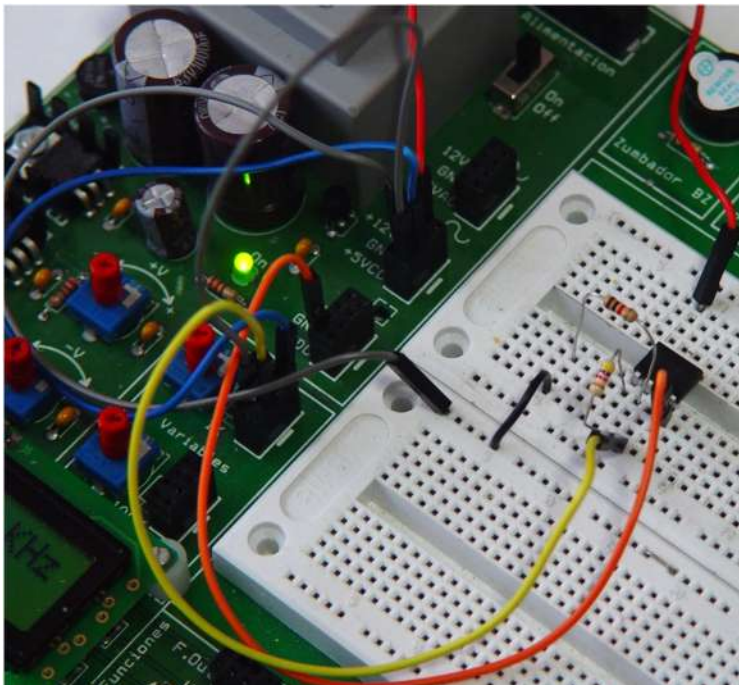
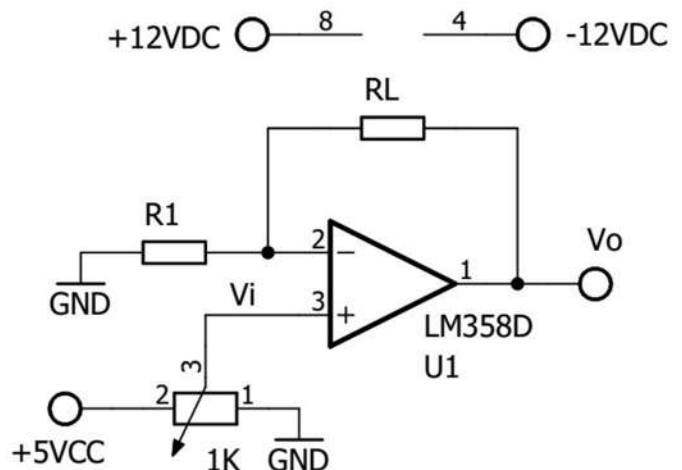
Por supuesto que también puedes aplicar una señal alterna a amplificar. Para probarlo basta que desconectes Vi del cursor del potenciómetro y la conectes con la salida del generador del laboratorio. Nosotros hemos seleccionado una señal sinusoidal de 1 KHz y el valor de la pareja de resistencias RL / R1 es de 4K7 / 1 K, con lo que la amplificación o ganancia es de 4.7 veces. Esta es la imagen que nos ofrece nuestro osciloscopio.



El trazo amarillo, canal CH1, muestra la señal de entrada en Vi con una tensión pico a pico de 0.44 V aproximadamente. El trazo azul del canal CH2 muestra la señal de salida en Vo. Su valor aproximado es de 2.1 V. Si divides Vo / Vi verás que la amplificación es de 4.77 veces, muy parecida a lo calculado anteriormente. Observa también que la señal de salida está invertida, desfasada en 180°. No olvides que estamos hablando de un amplificador inversor.

P4-2 Amplificador no inversor

Es otra de las formas de amplificación con un operacional. El circuito típico es el que tienes en la imagen. Al igual que antes también lo alimentamos con una tensión simétrica de ± 12 V por las patillas 8 y 4.



En esta ocasión la tensión o señal a amplificar, V_i , se introduce por la entrada no inversora en la patilla 3. Gracias al potenciómetro la podemos variar entre 0 y 5 V. El factor de amplificación también depende de la relación entre la resistencia de realimentación R_L y R_1 , por lo que la tensión de salida, V_o , en la patilla 1 se calcula según la siguiente fórmula:

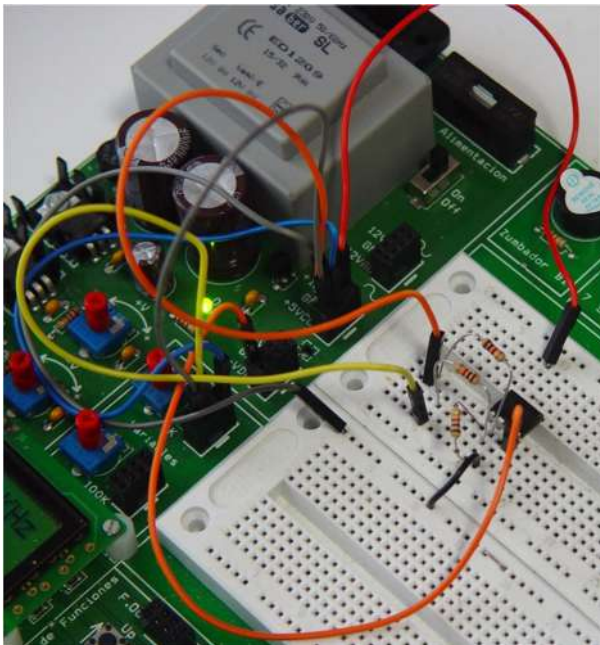
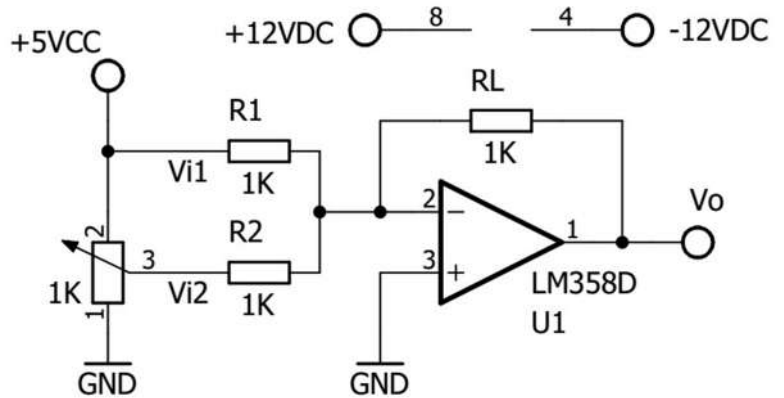
$$V_o = V_i \left(\frac{R_L}{R_1} + 1 \right)$$

Una vez realizado el montaje completa la siguiente tabla midiendo y anotando la tensión V_o de salida para diferentes valores de la tensión V_i de entrada, y con diferentes valores de las resistencias R_L y R_1 .

		TENSIÓN DE ENTRADA (V_i)									
R_L/R_1	Ganancia	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
4K7/1K											
10K/4K7											
10K/10K											
1K/4K7											

P4-3 Sumador inversor

Es otra de las típicas configuraciones de un amplificador operacional. La tensión o señal de salida, V_o , es el resultado de sumar las tensiones o señales de entrada aplicadas por V_{i1} , V_{i2} , V_{i3} , ... V_{in} . En el circuito de la figura se suman dos tensiones, V_{i1} y V_{i2} , que se aplican por la entrada inversora por la que la salida también será invertida o desfasada 180° .



La tensión V_o de salida se calcula mediante:

$$V_o = -R_L \left(\frac{V_{i1}}{R_1} + \frac{V_{i2}}{R_2} + \dots \frac{V_{in}}{R_n} \right)$$

En el caso particular de que todas las resistencias sean iguales, $R_L = R_1 = R_2 = R_n$, la salida se calcula:

$$V_o = -(V_{i1} + V_{i2} + \dots V_{in})$$

Es el caso del circuito del ejemplo en el que $R_L = R_1 = R_2 = 1K\Omega$.

Ya que la tensión V_{i1} es fija de 5V, con el potenciómetro vamos a variar la tensión en V_{i2} según los valores indicados en la tabla. Anotar los valores de salida en V_o .

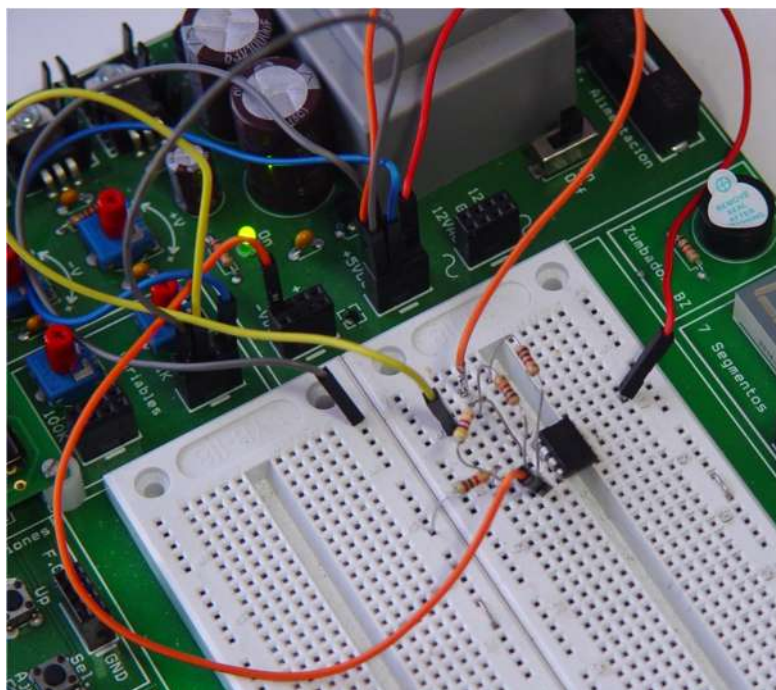
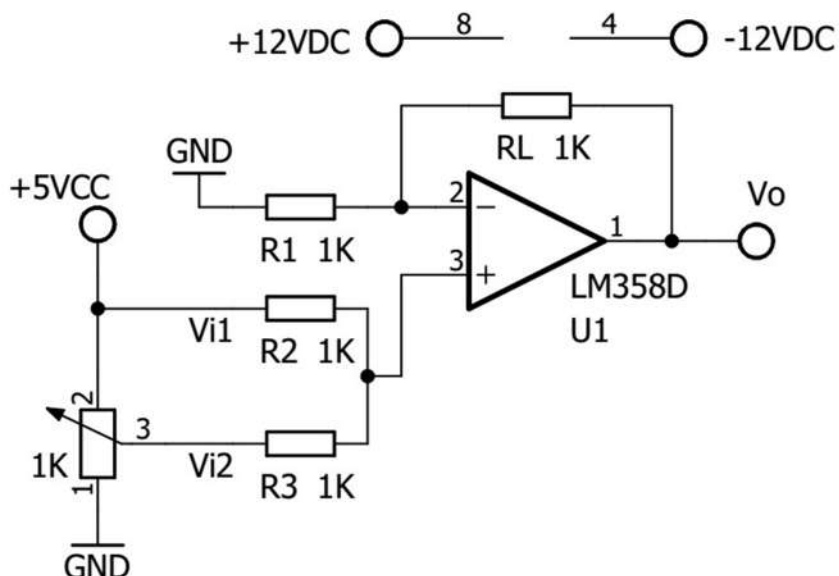
V_{i1}	5	5	5	5	5	5	5	5	5
V_{i2}	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
V_o									

Cambia las tres resistencias de 1K por otras tantas de 10K y repite las medidas. Verás que los resultados son los mismos. No importa el valor de las resistencias sino la relación entre ellas.

V_{i1}	5	5	5	5	5	5	5	5	5
V_{i2}	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
V_o									

P4-4 Sumador no inversor

Es lo contrario del anterior. Las tensiones a sumar se aplican por la entrada no inversora del amplificador operacional, tal y como se muestra en el esquema de la figura.



La tensión V_o de salida se calcula la siguiente manera. En el caso de que $R_2=R_3$, pero $R_L \neq R_1$: $V_o = \frac{R_L+R_1}{R_1} \left(V_{i1} \frac{R_2}{R_2+R_3} + V_{i2} \frac{R_3}{R_2+R_3} \right)$.

Para el caso particular y más habitual de que todas las resistencias sean iguales $R_L=R_1=R_2=R_3=R_n$, la salida: $V_o = V_{i1} + V_{i2} + \dots + V_{in}$. Es el caso de nuestro circuito en el que $R_L=R_1=R_2=R_3=1K\Omega$.

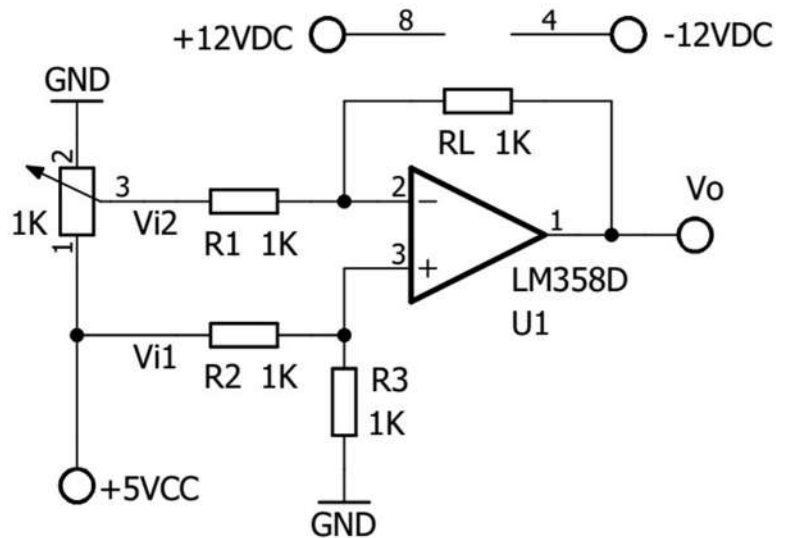
Ya que la tensión V_{i1} es fija de 5V, con el potenciómetro vamos a variar la tensión en V_{i2} según los valores indicados en la tabla. Anotar los valores de salida en V_o .

V_{i1}	5	5	5	5	5	5	5	5	5
V_{i2}	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
V_o									

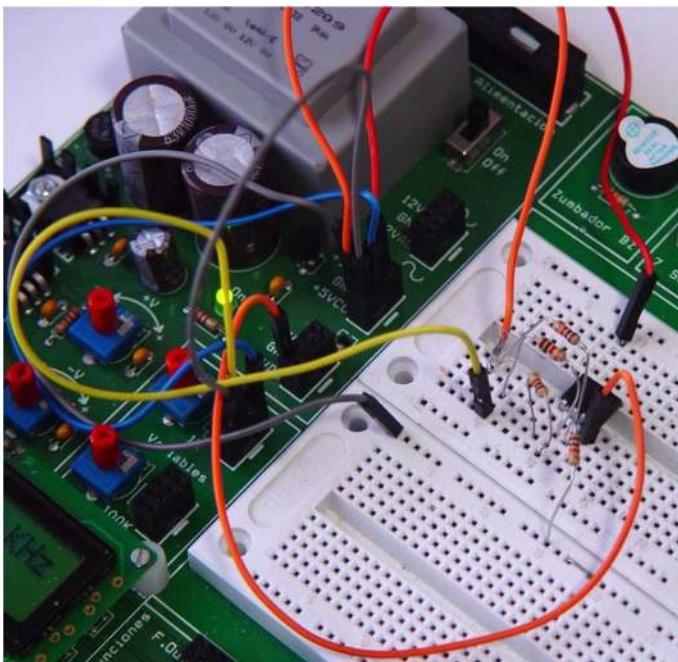
Observa que ahora la tensión de salida es del mismo signo que la de entrada. No hay desfase ya que se trata de un circuito sumador NO inversor.

P4-5 Restador

Es otra de las configuraciones típicas de los A.O. y su esquema lo tienes en la imagen. Las tensiones a restar se aplican por la entrada no inversora, el minuendo (V_{i1}), y por la inversora, el sustraendo (V_{i2}). La salida en V_o representa la diferencia amplificada de las tensiones de entrada en V_{i1} y V_{i2} y viene dada por:



$V_o = \frac{R_L}{R_1} (V_{i1} - V_{i2})$. En el caso habitual de que todas las resistencias sean de igual valor como es en nuestro esquema: $V_o = V_i - V_{i2}$



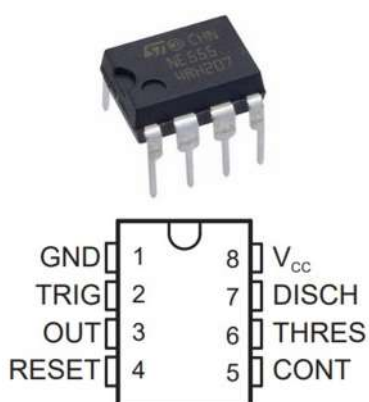
En este ejemplo la tensión V_{i1} aplicada a la entrada no inversora, actúa de minuendo y es fija de +5VCC. La tensión V_{i2} puede variar entre 0 y +5V gracias al potenciómetro. Se aplica a la entrada inversora y actúa como minuendo del circuito restador.

Ya que V_{i1} es fija, de +5 V, con ayuda del potenciómetro vas a variar V_{i2} según los valores de la tabla, al tiempo que anotas el resultado en la salida V_o .

V_{i1}	5	5	5	5	5	5	5	5	5
V_{i2}	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
V_o									

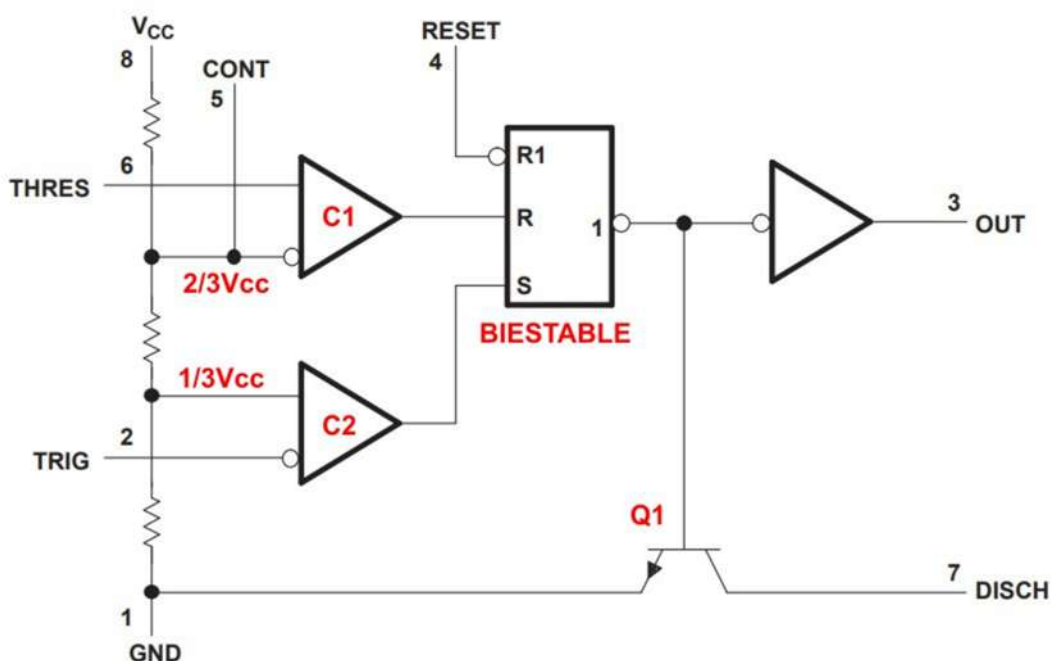
P5: EL TEMPORIZADOR LM555

Es otro de los circuitos integrados más usado de la historia y consiste en un circuito temporizador. Es muy económico y fácil de localizar. Yo creo que todos los fabricantes de circuitos integrados lo tienen en su catálogo de productos. Este es su encapsulado y descripción de patillas.



PIN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	GND	Tierra de alimentación
2	TRIG	Entrada de inicio de temporización. Activa la salida.
3	OUT	Es la salida. Puede estar con 0V o con VCC (menos 1.7V)
4	RESET	Borrado. Si su tensión es inferior a 0.7V la salida OUT pasa a 0V.
5	CONT	Entrada de tensión para el control de tiempos.
6	THRES	Entrada para desactiva la salida
7	DISCH	Controla la descarga de un condensador externo.
8	VCC	Positivo de alimentación de 4.5 V a 16 V

Su interior está formado por circuitos que ya conoces. Mira el esquema por bloques de la figura.



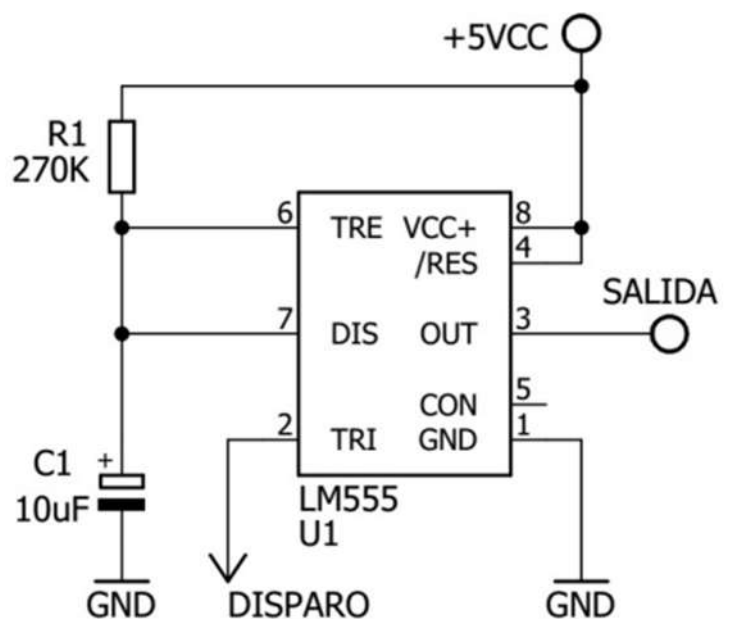
Por un lado dispone de un biestable. Las señales S y R activan o desactivan la salida OUT. Por otro lado un divisor de tres resistencias proporciona tensiones de referencia a los dos comparadores C1 y C2.

C1 recibe una tensión de referencia de $2/3 V_{CC}$ por su entrada inversora y una tensión externa de umbral, THRES, por la no inversora. Cuando esta sea superior a $2/3$ de V_{CC} , se produce la señal R y la salida OUT se desactiva sacando una tensión próxima a 0V (GND). Al mismo tiempo se activa el transistor Q1 en saturación. Esto cortocircuita la patilla DISCH con GND y permite descargar automáticamente un condensador externo conectado en dicha patilla (7). Por cierto, una tensión externa aplicada por la patilla 5 (CONT) puede usarse para modificar el valor de la tensión de umbral necesaria para desactivar la salida OUT.

El comparador C2 recibe una tensión fija de $1/3$ de V_{CC} , y otra variable aplicada por la patilla 2 de disparo (TRIG). Cuando esta es inferior a $1/3$ de V_{CC} se produce la señal S y la salida Q se activa sacando una tensión próxima a $+V_{CC}$. Con esta sencilla descripción se pueden explicar los circuitos típicos construidos a partir del LM555.

P5-1 Monoestable

A partir de una señal por la entrada de disparo, de una duración muy breve, la salida OUT se activa durante un tiempo que puede ser de una duración variable. Este es el esquema del circuito que debes de montar. Al conectar la entrada de disparo (TRI) con una tensión inferior a $1/3$ de V_{CC} , por ejemplo con GND, la salida OUT se activa. El condensador C1 se carga a través de R1 y cuando la tensión adquirida supere $2/3$ de V_{CC} la salida OUT se desactiva. El transistor interno (Q1) se activa cortocircuitando la patilla DIS con GND. El condensador C1 se descarga y el circuito queda en reposo hasta una nueva señal de disparo.

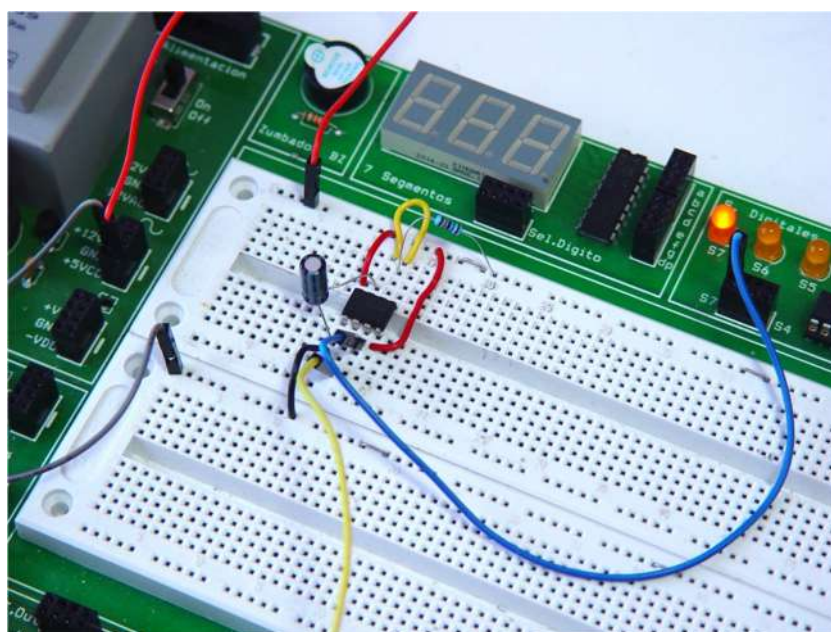




El funcionamiento descrito se puede representar en un diagrama de tiempos como el de la figura. En él puedes ver la señal de disparo en la patilla TRI y la respuesta del circuito en su salida OUT.

En la práctica hemos conectado la salida OUT con uno de los leds del entrenador, evitando así tener que ponerlo aparte.

El tiempo en que la salida permanece activa depende de los valores de R1 y C1:



$$t = 1.1 \times R1 \times C1$$

Vamos a probar con diferentes valores de R y de C. Haz los cálculos teóricos y luego intenta cronometrar los tiempos. Completa así la siguiente tabla.

R1	C1	TEORICO	PRACTICO
270 K	10 μ F		
100K	10 μ F		
1 M	10 μ F		
1 M	1 μ F		
100 K	100 μ F		
10 K	100 μ F		

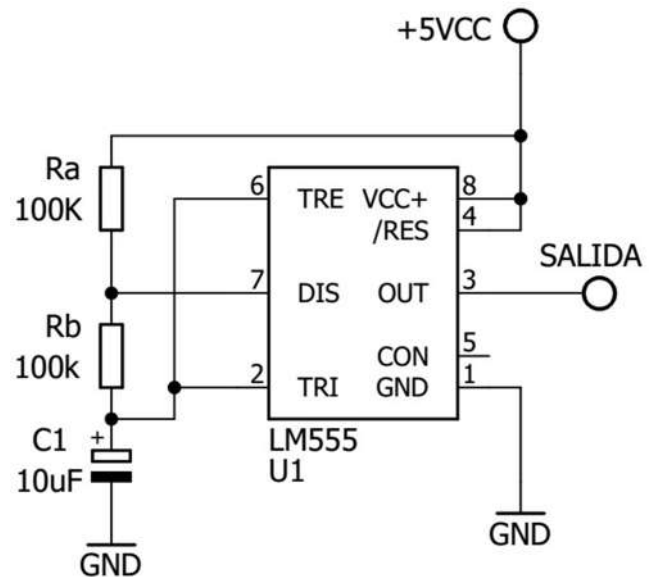
Te voy a ayudar. En la red puedes encontrar un buen número de programas y aplicaciones on line que te ayudarán a realizar estos cálculos. Aquí tienes un par de ellas, pruébalas:

<http://555-timer-circuits.uk/operation/oscillator.html?>

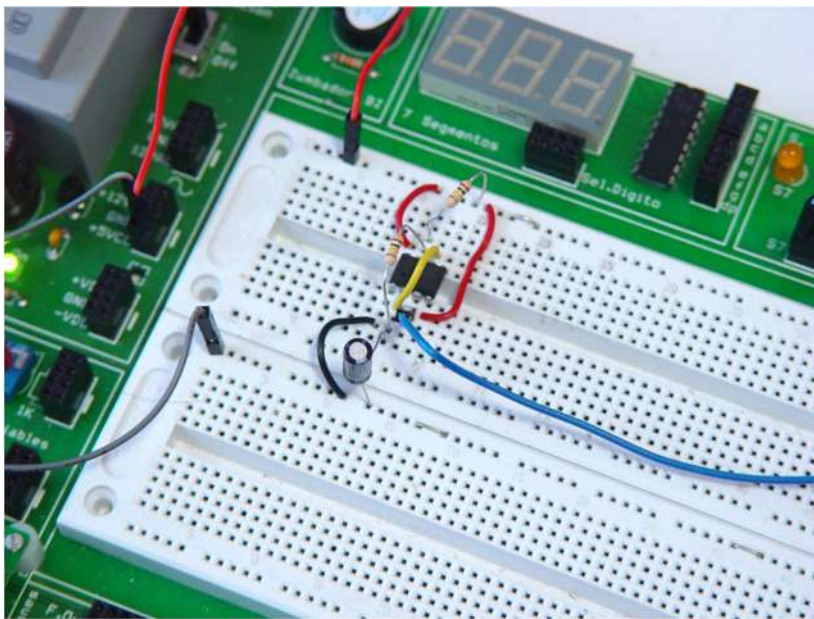
<http://web.udl.es/usuaris/p7806757/555-calculadora/555%20Calculator.htm>

P5-2 Inestable o Astable

Es la otra configuración típica del LM555 y su esquema de montaje lo puedes ver en la figura. Básicamente la configuración Inestable/Astable consiste en que la salida OUT esté cambiando su estado activo/desactivo de forma constante y periódica, generando así una señal de onda cuadrada.



Inicialmente C1 está descargado, con 0V, lo que origina la señal de disparo TRIG y que la salida OUT se active (OUT=VCC). Al mismo tiempo C1 se carga a través de Ra y Rb



que están en serie. En un momento dado la tensión en C1 supera los 2/3 de Vcc de umbral en la patilla TRE. La salida OUT se desactiva (OUT=GND) y además, mediante la patilla DIS, se descarga el condensador a través de Rb. Cuando su tensión desciende por debajo de 1/3 de Vcc se produce nuevamente la señal de disparo en TRI y el ciclo se repite constantemente.

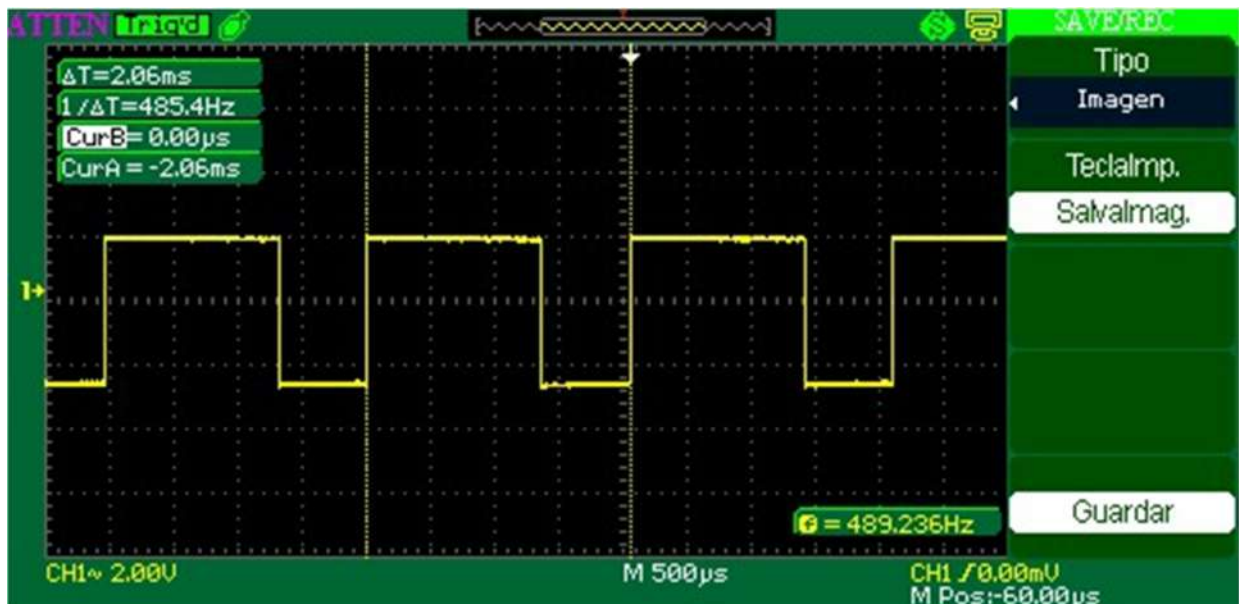
En la imagen puedes ver el montaje práctico. Con las siguientes fórmulas puedes calcular el tiempo en segundos en que la salida OUT se mantiene activada (ON), en el que se mantiene desactivada (OFF), el periodo en segundos de la señal (T) y la frecuencia en hercios de la misma (F).

- $ON = 0,69 \times (Ra + Rb) \times C1$
- $OFF = 0,69 \times Rb \times C1$
- $T = ON + OFF$
- $F = \frac{1}{T}$

Completa la siguiente tabla calculando los tiempos ON, OFF, periodos T y frecuencia F en función de diferentes valores tanto de las resistencias Ra y Rb como del condensador C1.

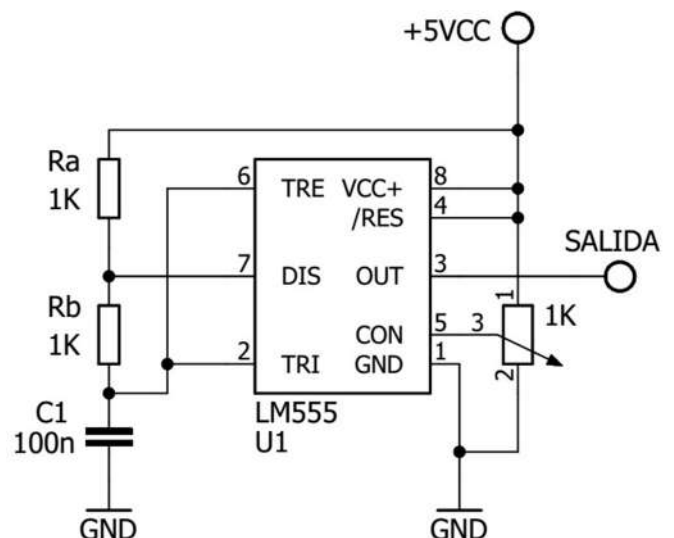
Ra	Rb	C1	ON	OFF	T	F
100 K	100 K	10 μ F				
100 K	100 K	1 μ F				
100 K	10 K	100 n				
10 K	10 K	100 n				
1 K	1 k	10 n				

Como seguramente ya habrás deducido, para verificar algunos de los resultados anteriores, necesitarías un osciloscopio. Así lo hemos hecho nosotros también. Mira el siguiente oscilograma... ¿sabrías decirnos a qué valores de Ra, Rb y C1 corresponde?



P5-3 Oscilador controlador por tensión

Un oscilador controlador por tensión (VCO) consiste en un circuito que proporciona una señal, en este caso de onda cuadrada, cuya frecuencia varía al variar una tensión. Esto se puede hacer fácilmente con el circuito integrado LM555. Este es el circuito que proponemos.



Si lo analizas despacio verás que es un montaje que no difiere mucho del de la práctica anterior. Como ya sabes R_a , R_b y C_1 determinan de alguna manera la frecuencia de trabajo. Sin embargo, y aquí está el detalle importante, por la patilla CON se introduce una tensión variable entre 0 y 5V mediante el potenciómetro. A partir de ahora, la desactivación de la salida OUT no depende de alcanzar la tensión de umbral de $2/3$ de V_{cc} , sino de alcanzar el valor de la tensión que por aquí aplicamos.

Si esta tensión de umbral es de bajo valor el condensador C_1 se carga más rápido y la desactivación de OUT se produce antes. El ciclo se repite por tanto con **mayor frecuencia**. Por el contrario, si la tensión de umbral aplicada por CON es grande, C_1 tarda más en alcanzarla y la desactivación de OUT se retrasa. El ciclo se repite con **menor frecuencia**.

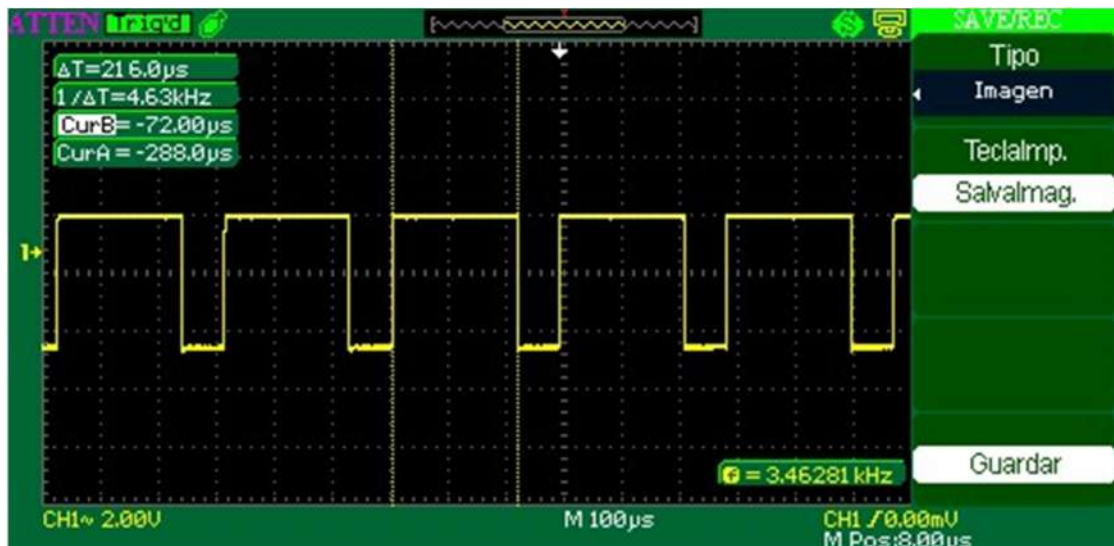
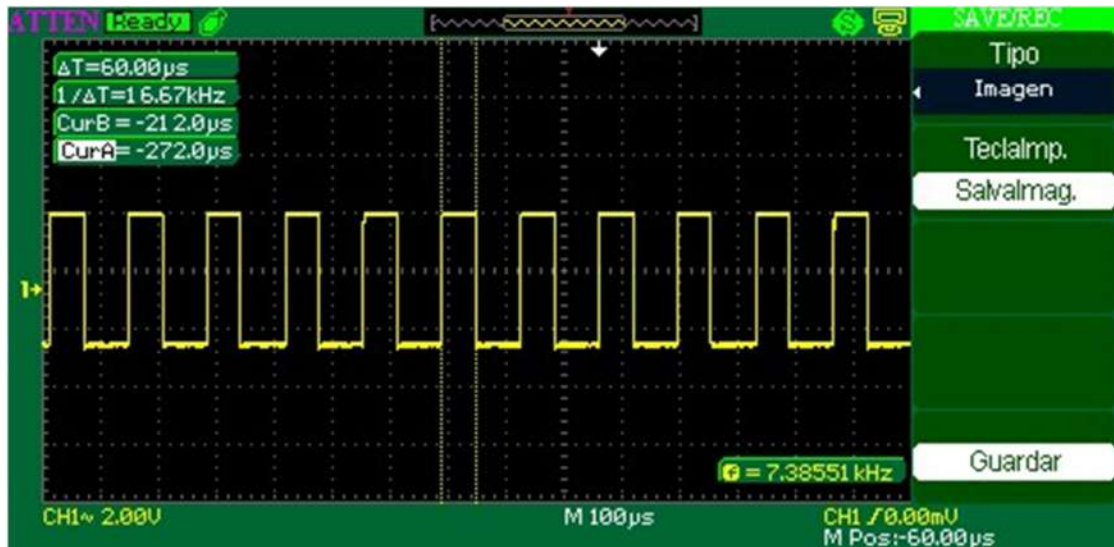
Las siguientes son unas fórmulas bastante sencillas, que ofrecen buenos resultados, y que permiten calcular el tiempo en que la salida OUT está activada (ON), el periodo T y la frecuencia F:

- $ON = (R_a + R_b) \times C_1 \times \ln\left(\frac{V_{cc} - V_{CON}}{V_{cc} - (0.5 \times V_{CON})}\right)$
- $T = ON + (0,69 \times R_b \times C_1); \quad F = \frac{1}{T}$

Completa la tabla con los cálculos teóricos obtenidos a partir de diferentes tensiones en CON (V_{CON}).

V_{CON}	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
ON							
T							
F							

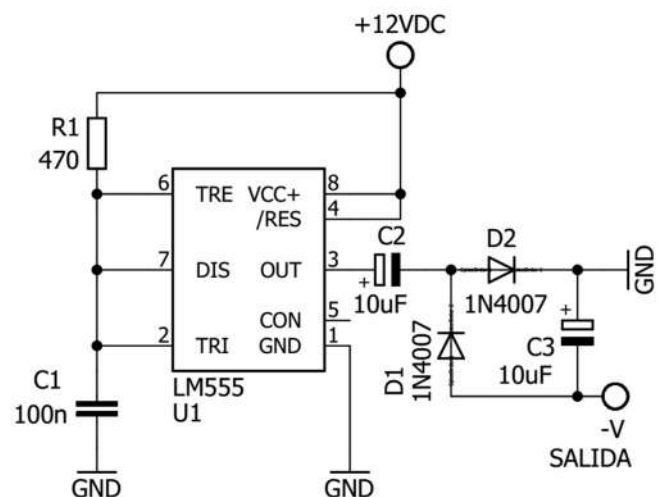
Aquí te dejo dos imágenes obtenidas con el osciloscopio. ¿Sabrías decir a que tensiones en V_{CON} corresponden?



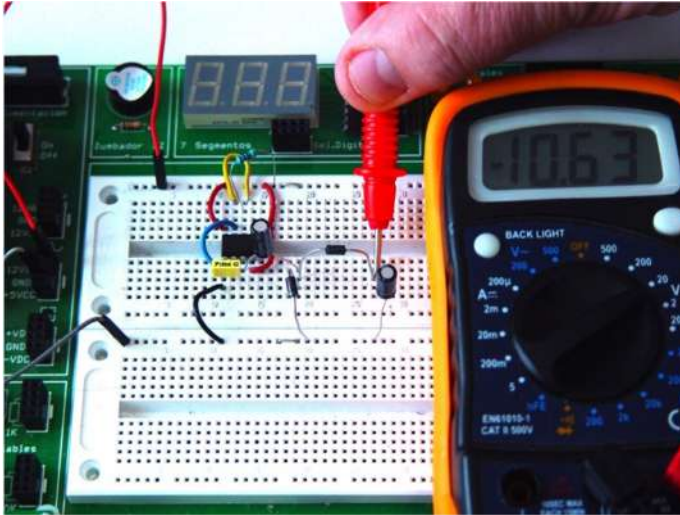
Nos seas demasiado exigente y ten en cuenta las tolerancias de los componentes e instrumentos.

P5-4 Circuito inversor de tensión

ii Por fin !! Con este circuito llegamos al final de este tema y con ello al final de este curso práctico de Electrónica Básica. Se trata de hacer un circuito inversor a partir de un LM555. ¿Qué es un circuito inversor? Es un circuito que genera una tensión negativa respecto a GND a partir de otra positiva. Mira este esquema.



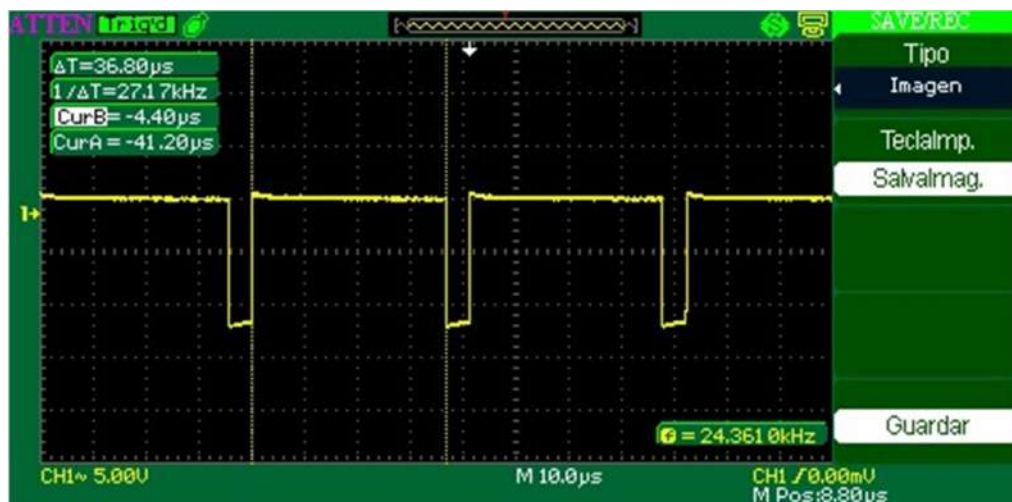
Se trata de una configuración Astable/inestable en el que el valor de $R1$ y $C1$ determinan la duración de los pulsos de la señal de onda cuadrada por la salida OUT. Estos pulsos, cuando OUT está ON, cargan $C2$ a través de $D2$. Cuando OUT está en OFF $C3$ se carga con la tensión que le aporta $C2$ a través de $D1$. Se dice que $C2$ "bombee" su



carga a $C3$. Según el sentido de la carga, la polaridad en $C3$ se negativa respecto a GND.

En la imagen puedes ver el montaje práctico. En ella el polímetro indica una tensión negativa de 10.63V medida entre GND y el ánodo de $D1$. El circuito, en este caso, se está alimentando con +12VDC. Anota el valor de la tensión de salida: -V =

Por pura curiosidad, en la imagen tienes el oscilograma con la señal de onda cuadrada en la salida OUT.



También, por pura curiosidad, puedes probar a alimentar el circuito con otras tensiones distintas de +12VDC, y medir cuál sería la tensión negativa de salida -V. Para ello puedes usar la tensión variable +VDC que ofrece el laboratorio Universal Trainer.

+VDC	5	7	9	11	13	15
-V						