

TEMA 9: Misceláneo**OBJETIVOS**

Vamos a finalizar el curso proponiendo un par de prácticas muy sencillas que nos permiten comprobar y experimentar con los convertidores analógicos-digitales (ADC) y los digitales-analógicos (DAC). Para ello vamos a usar un viejo conocido que ya hemos usado en anteriores ocasiones. Estamos hablando del dispositivo MKE-3.0 diseñado con fines didácticos por MK Electrónica para este curso de Electrónica Digital.

En el tema 6 lo empleábamos en el modo digital, implementando una ALU de 4 bits para realizar operaciones aritméticos/lógicas. ¿Te acuerdas de él?

En esta ocasión usaremos el dispositivo MKE-3.0 en el modo analógico. Vamos a emular un convertidor ADC de dos canales y un comparador de tensiones analógicas. Mediante un DAC realizaremos un generador de tensión analógica y de señales en diente de sierra y triangular.

RELACIÓN DE MATERIALES

- Entrenador Universal Trainer o plataforma equivalente para experimentación de circuitos digitales; cables de conexión.
- Como instrumento de medida se recomienda un polímetro para medir tensión y un osciloscopio.
- C. Integrados: 1 x MKE-3.0

INDICE GENERAL**P1: CONVERSIÓN ADC**

P1-1 Conversión ADC del canal AN0 del MKE-3.0

P1-2 Conversión ADC del canal AN1 del MKE-3.0

P1-3 Comparación analógica de los canales AN0 y AN1

P2: CONVERSIÓN DAC

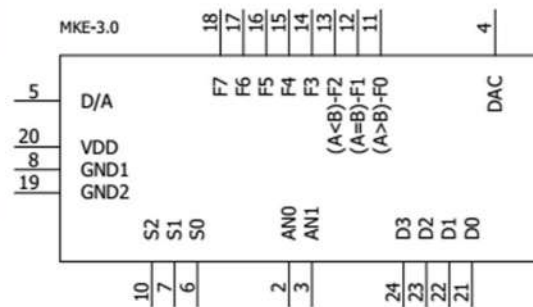
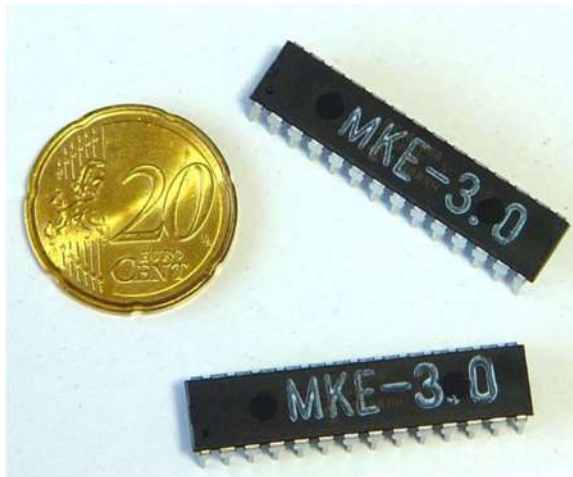
P2-1 Generando una tensión analógica

P2-2 Generación de una señal en diente de sierra

P2-3 Generación de una señal triangular

TEMA 9: Misceláneo

En estas prácticas vamos a usar el dispositivo MKE-3.0. Realmente se trata de un microcontrolador PIC que integra abundantes recursos internos y al que hemos programado para que realice diferentes tareas. En esta ocasión lo vamos a usar en el modo analógico y en la imagen puedes ver el encapsulado, el patillaje y su descripción.



NOMBRE	Nº PATILLA	DESCRIPCIÓN
S2, S1, S0	10, 7, 6	Entradas para seleccionar la función a realizar
D/A	5	Selección de modo digital o analógico
F7,F6,F5,F4, F3,F2,F1,F0	18,17,16,15,14,13,12,11	Salidas binarias con el resultado de una conversión ADC de la tensión analógica introducida por AN0 o por AN1
A<B, A=B, A>B	13, 12, 11	Salidas del comparador de las tensiones analógicas introducidas por AN0 y AN1
DAC	4	Salida de tensión Vo del convertidor DAC
AN0, AN1	2, 3	Entradas AN0 y AN1 de los dos canales analógicos del ADC
D3,D2,D1,D0	24,23,22,21	Entradas binarias de 4 bits para el convertidor DAC
VDD,GND	20, 8, 19	Entradas de tensión de alimentación

En la siguiente tabla se codifican las seis funciones disponibles en el modo analógico. Se seleccionan mediante las entradas de selección S2, S1 y S0.

D/A	SELECCIÓN S2, S1, S0	Nº	FUNCIÓN
0	XXX	X	Modo Digital. No usar en este modo
1	000	0	Conversión ADC de la tensión analógica introducida por AN0
1	001	1	Conversión ADC de la tensión analógica introducida por AN1
1	010	2	Comparación de las tensiones analógicas introducidas por AN0 y AN1
1	011	3	Salida de tensión analógica desde el DAC
1	100	4	Salida de señal en diente de sierra desde el DAC
1	101	5	Salida de señal triangular desde el DAC

Por simple curiosidad comentar que el convertidor ADC integrado en el dispositivo MKE-3.0 es de 10 bits, es del tipo de aproximaciones sucesivas (SAR) y dispone de hasta 11 canales analógicos de entrada, de los cuales solo empleamos dos de ellos, AN0 y AN1.

En cuanto al convertidor DAC del MKE-3.0 decir que es del tipo de red lineal de resistencias y con una resolución de 4 bits.

P1: CONVERSIÓN ADC

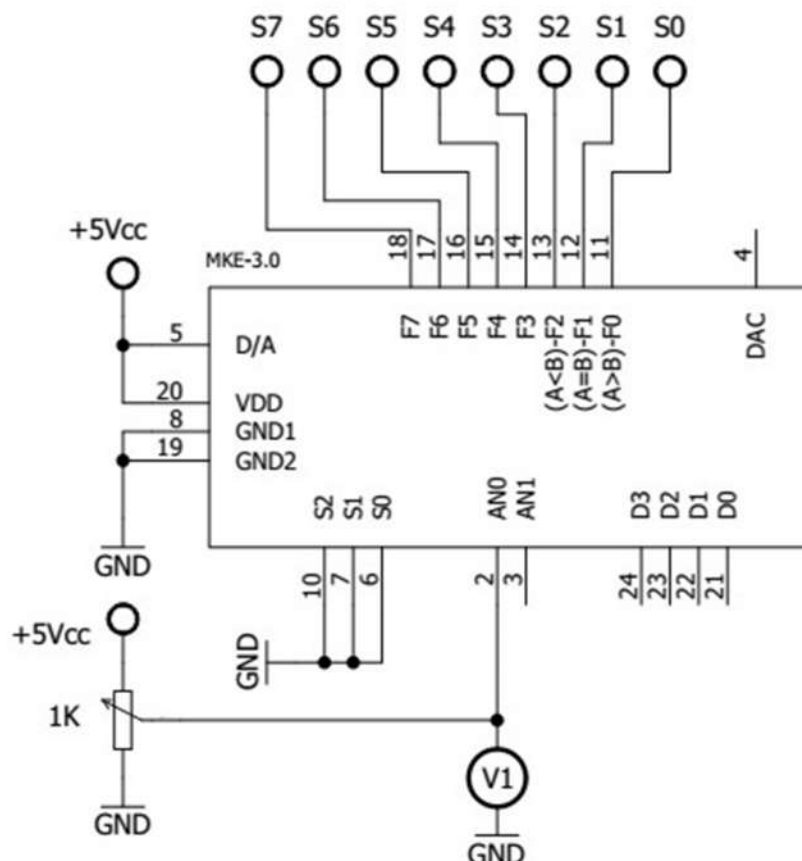
Usaremos el convertidor ADC que integra el dispositivo MKE-3.0 para realizar la conversión de dos tensiones analógicas introducidas por AN0 y AN1, y también una comparación de ambas tensiones. Se trata de un convertidor de 10 bits al que se le aplica una tensión de referencia interna de $V_{REF} = 5V$. Su resolución será por tanto de:

$$Res = \frac{V_{REF}}{2^n} = \frac{5}{2^{10}} = \frac{5}{1024} = 0.00488 V$$

Te hago notar lo pequeña que es esta resolución, menor de 5 milésimas de voltio por bit. Las hay más precisas. Basta un convertidor de más bits o con bajar V_{REF} .

P1-1 Conversión ADC del canal AN0 del MKE-3.0

El esquema propuesto es el que tienes en la figura. Las entradas de selección están: $S2:S0 = GND = 000$. Usaremos el potenciómetro de 1K del Universal Trainer para introducir una tensión analógica comprendida entre 0 y 5V por la entrada AN0. Los leds $S7:S0$ visualizan en binario los 8 bits de más peso que resultan de la conversión.



Tenemos un pequeño problema para analizar y comprobar los resultados. Ocurre que la resolución del convertidor ADC del MKE-3.0 es de 10 bit, sin embargo en el entrenador solo tenemos 8 leds que van a visualizar los 8 bits de más peso de ese resultado. Faltan los 2 bits de menos peso. Para minimizar este efecto, debemos multiplicar por 4 ($2^2 = 4$) al resultado obtenido.

Así y todo, como el valor de esos dos bits puede oscilar entre 00, 01, 10 y 11 (0, 1, 2 y 3), El resultado puede oscilar entre un mínimo (+ 0) y un máximo (+ 3). Un ejemplo...

El resultado real de una conversión de 10 bits es 1001100101, pero solo vemos los 8 de más peso, 10011001, que en decimal equivale a 153 (usa la calculadora de Windows o similar). Si lo multiplicas por 4 te queda 612 (+ 0) como mínimo y 615 (+ 3) como máximo. Pues bien, a estos valores los multiplicas por la resolución de 0.00488 V y te queda que la tensión analógica de entrada V_{in} era como mínimo de 2,986 V y como máximo de 3.001 V. Es la tensión que debiera medir el voltímetro V1 conectado en AN0.

Esto ocurre en condiciones ideales, pero sin embargo en la vida real, pueden ocurrir variaciones debidas a:

- La tensión V_{REF} que usa MKE-3.0 es la misma que la de alimentación +VDD, pero esta puede no ser exactamente de +5 V, por lo que la resolución tampoco sería de 0.00488 V. Te sugiero que midas la VDD y calcules la resolución exacta en tu caso, con tu montaje y en tu entrenador:



$$Res = \frac{V_{REF}}{2^n} = \frac{V_{dd}}{2^{10}} = \frac{V_{dd}}{1024} = \text{_____}$$

- En los cálculos nos dejamos decimales que en el cómputo final pueden producir variaciones entre lo teórico y lo práctico.
- Un voltímetro tampoco es 100% exacto, tiene tolerancias. La calidad del mismo tiene un precio directamente proporcional.

- El potenciómetro del entrenador tampoco es preciso al 100% y es posible que la tensión analógica de entrada que produce, no sea del todo estable y tenga pequeñas variaciones.

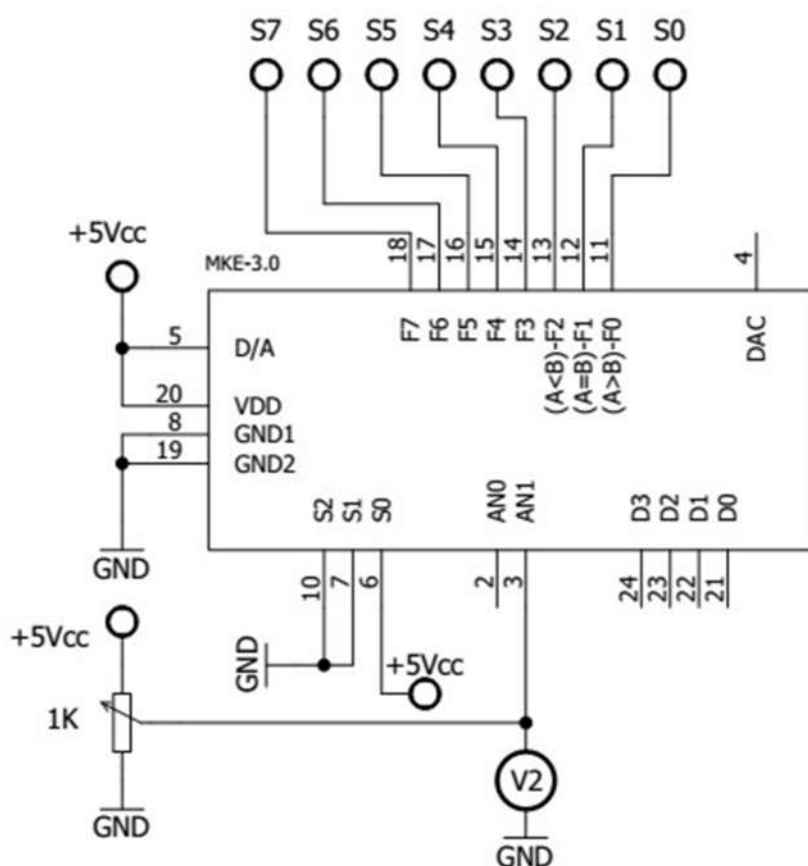
Con todo ello, podemos encontrar pequeñas diferencias entre el resultado binario que produce el convertidor y la tensión analógica que medimos con el voltímetro V1. Puede ser de unas centésimas de voltio, pero ambos valores deben de ser muy parecidos.

Como desarrollo de la práctica te invito a que completes la siguiente tabla. En ella debes ajustar el potenciómetro de 1 K (V1) con diferentes valores de tensión analógica Vin de entrada en AN0. Para cada tensión debes anotar el valor binario que produce la conversión, convertirlo a decimal, multiplicarlo por 4 y luego multiplicarlo por la resolución. Este resultado final se debe de parecer mucho a la Vin de entrada seleccionada.

Vin (ANO)	BINARIO	DEC	x 4	x Res
0				
0,5				
1				
1,5				
2				
2,5				
3				
3,5				
4				
4,5				
MAX.				

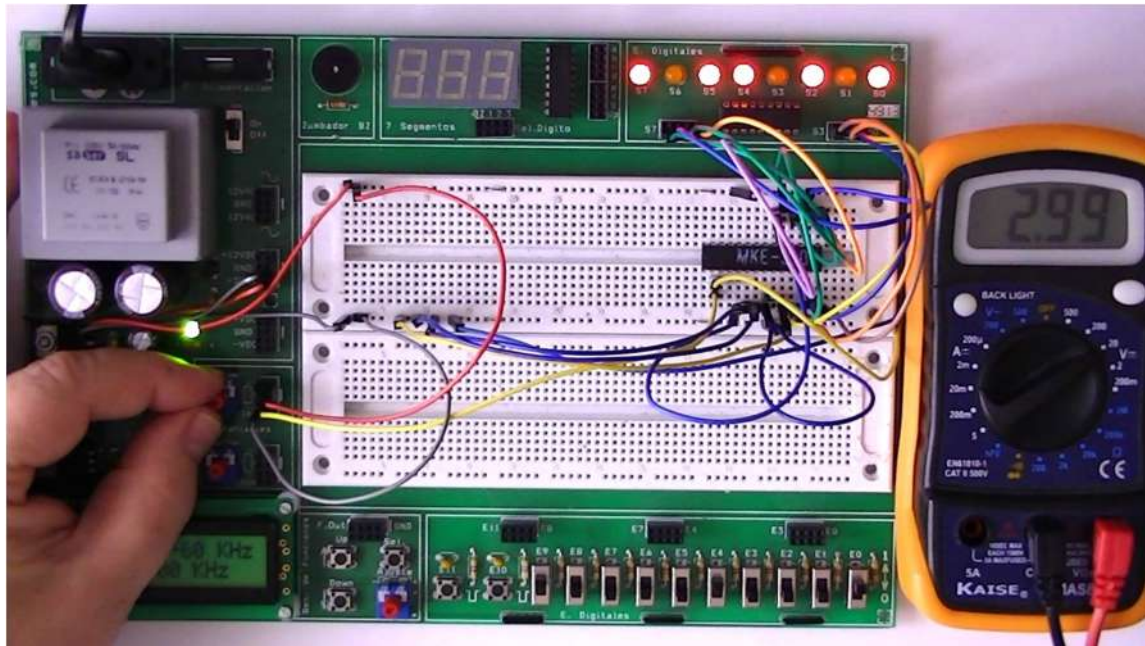
P1-2 Conversión ADC del canal AN1 del MKE-3.0

Realmente el microcontrolador con el que hemos implementado el dispositivo MKE-3.0 integra 11 canales analógicos de entrada (AN0-AN10), de los cuales únicamente hemos usado dos, AN0 y AN1. Ahora vamos a practicar con el canal AN1. En la figura tienes el esquema y la tabla que debes de completar. Es similar a la anterior, con la diferencia de que la tensión analógica que produce el potenciómetro (V2) se aplica por la entrada AN1, y las entradas de selección S2:S0 = GND-GND-VDD= 001.



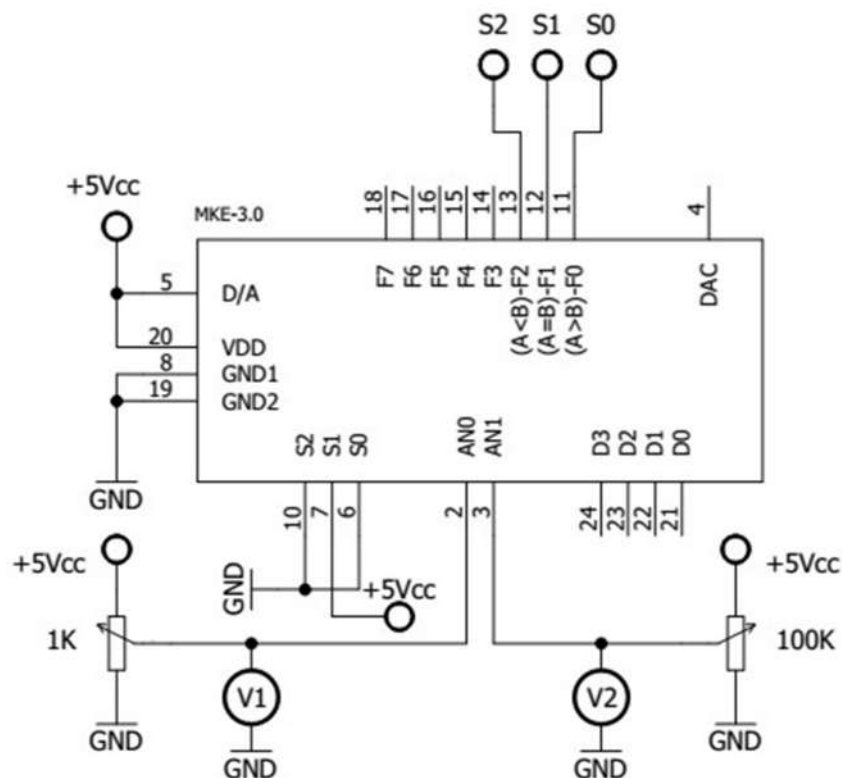
Vin (AN1)	BINARIO	DEC	x 4	x Res
0				
0,5				
1				
1,5				
2				
2,5				
3				
3,5				
4				
4,5				
MAX.				

En la fotografía tienes una imagen del montaje práctico de cualquiera de estos dos circuitos.

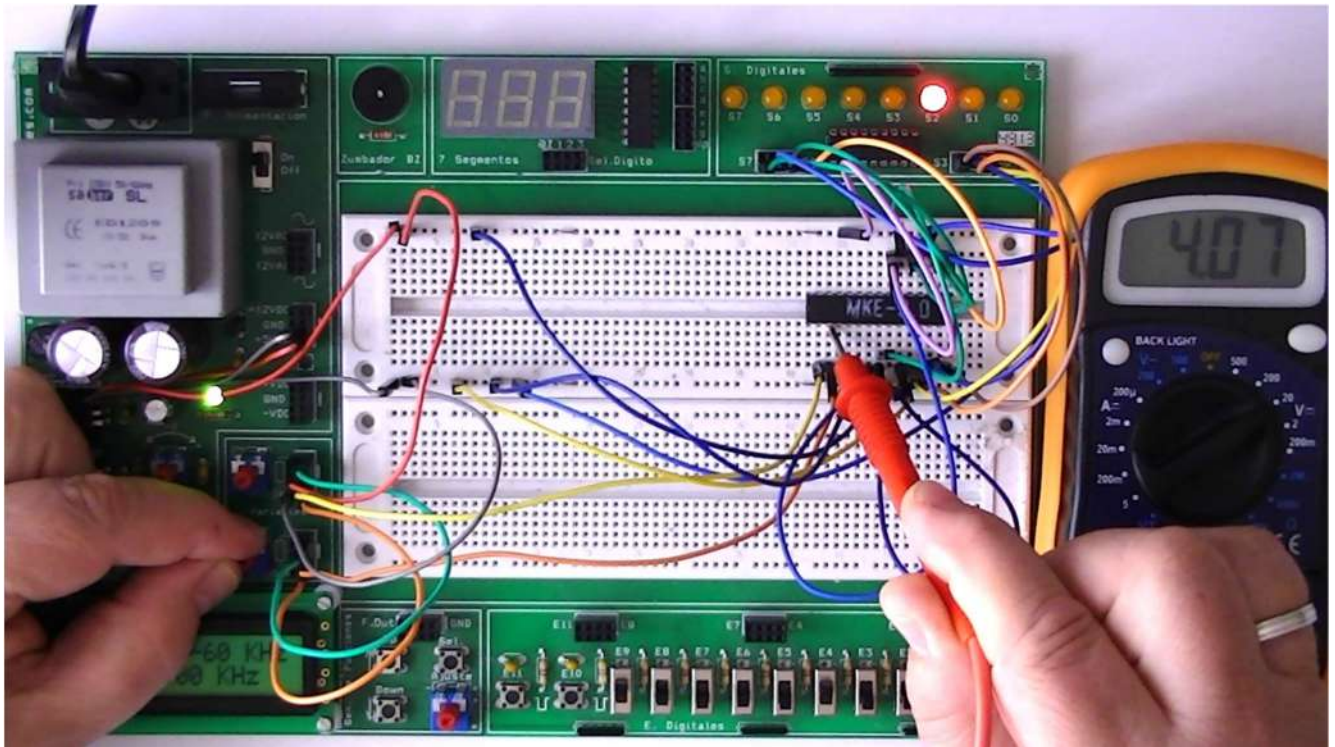


P1-3 Comparación analógica de los canales AN0 y AN1

Vamos con otra de las funciones implementadas en el dispositivo MKE-3.0. En esta ocasión se trata de un comparador de dos tensiones analógicas, V1 y V2, que se introducen por las entradas AN0 y AN1. Dichas tensiones las produciremos mediante los potenciómetros de 1K y 100K del entrenador Universal Trainer. Este es el esquema de montaje.



La tensión analógica V1 a comparar se introduce por el canal AN0 y V2 por el canal AN1. Los leds de salida S2, S1 y S0 indicarán si $V1 > V2$, $V1 = V2$ o $V1 < V2$ respectivamente como resultado de la comparación de ambas tensiones. Por último decir que esta función de comparación implementada en el MKE-3.0 se selecciona cuando las entradas S2:S0 = GND-VDD-GND = 010. Esta es la fotografía del montaje práctico.



Puedes completar una tabla similar a esta. En ella vas ajustando diferentes valores para V1 y V2 al tiempo que anotas el estado de los leds de salida S2, S1 y S0 para cada uno de ellos.

V1 (AN0-A)	V2 (AN1-B)	S2 (A < B)	S1 (A = B)	S0 (A > B)

P2: CONVERSIÓN DAC

En esta ocasión vamos a usar el convertidor digital analógico (DAC) que integra el dispositivo MKE-3.0. Se trata de un convertidor de tan solo 4 bits, por lo que solo puede ofrecer una tensión analógica de salida V_o con 16 valores diferentes ($2^4 = 16$), y comprendida entre un mínimo de 0 V y un máximo de 3 V, según la siguiente ecuación facilitada por el fabricante:

$$V_o = \frac{V_{digital}}{24} \times V_{DD}$$

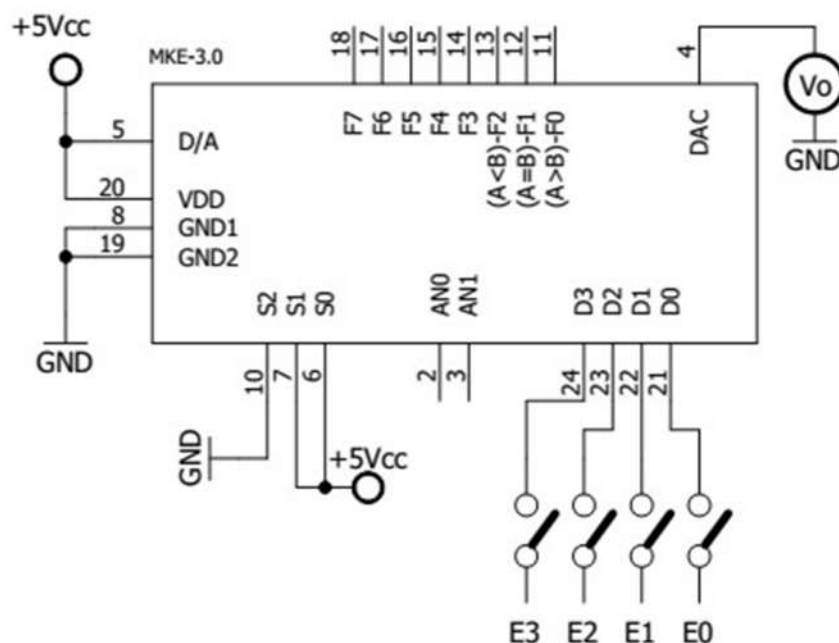
V_o = Tensión analógica de salida

$V_{digital}$ = Valor digital de entrada comprendido entre 0000 y 1111 (0 y 15)

V_{DD} = Tensión de alimentación. En nuestro caso $V_{DD} = 5\text{ V}$

P2-1 Generando una tensión analógica

Como primer ejemplo de uso del DAC implementado en el MKE-3.0, se propone un generador de tensión analógica. Este es el esquema de montaje.

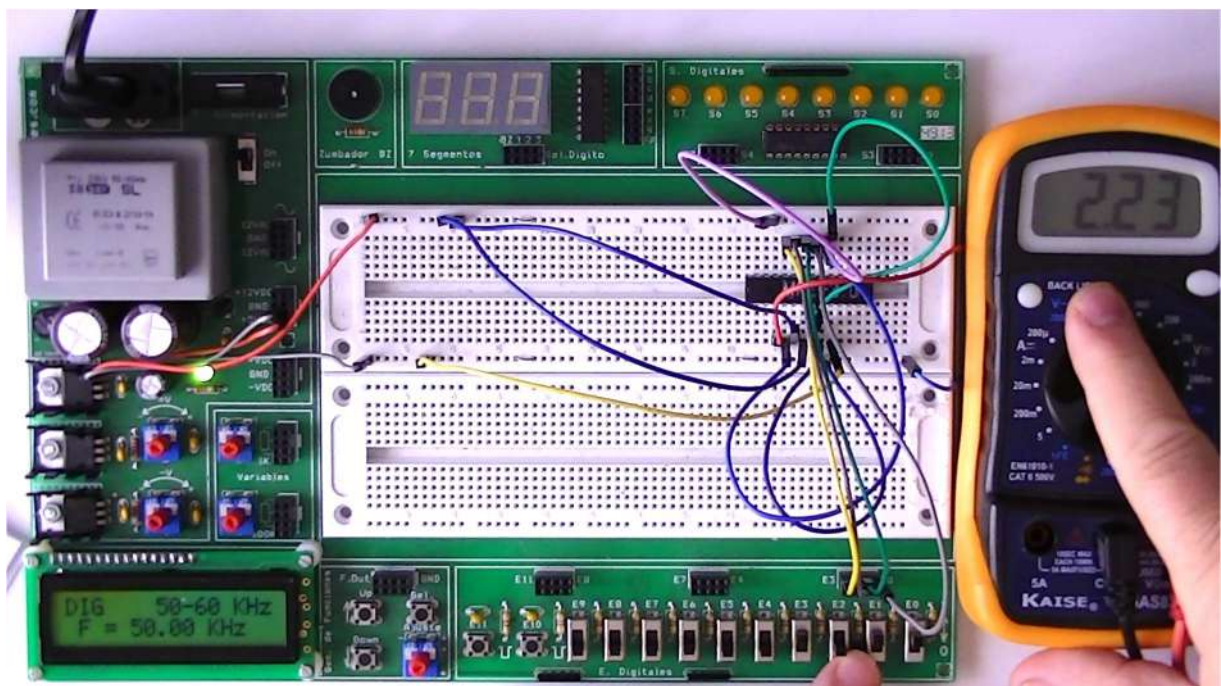


Mediante los interruptores E3:E0 introducimos un valor binario de 4 bits. Por la patilla 4 (DAC) tendremos una tensión de salida analógica (V_o) según la ecuación anterior. El código de selección en S2:S0 = GND-VDD-VDD=011.

Completa la tabla siguiente. Anota la tensión V_o calculada (teórica) y V_o medida con el voltímetro (práctica) para cada valor binario de entrada.

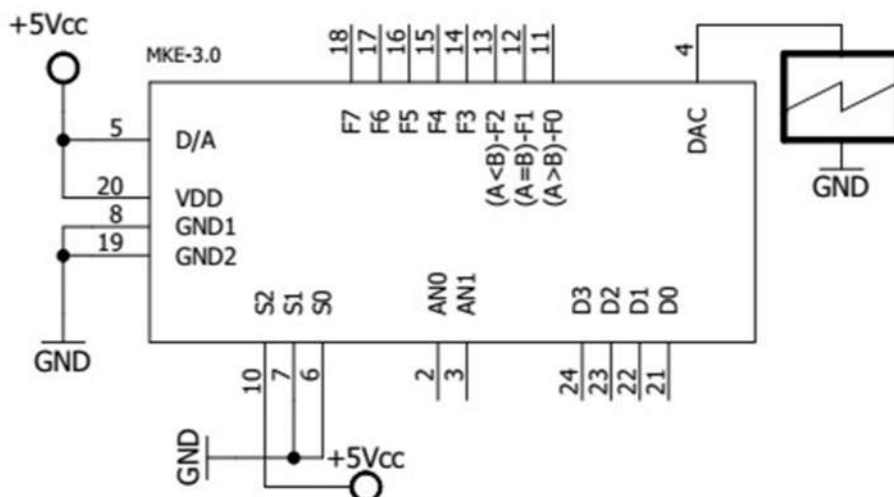
ENTRADA EN BINARIO	V_o TEORICA	V_o PRÁCTICA
0000		
0001		
0010		
0011		
0100		
0101		
0110		
0111		
1000		
1001		
1010		
1011		
1100		
1101		
1110		
1111		

Esta es la fotografía del montaje práctico sobre el entrenador Universal Trainer.

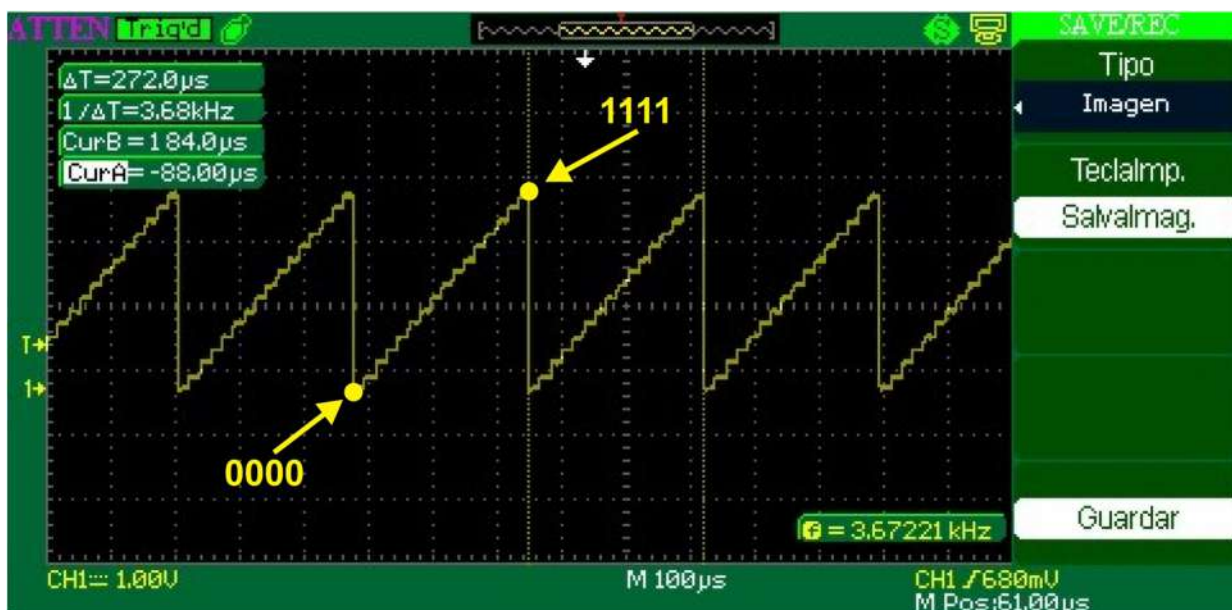


P2-2 Generación de una señal en diente de sierra

Otra de las funciones implementadas en nuestro dispositivo MKE-3.0 permite generar una señal analógica en diente de sierra empleando el DAC para ello. Este es el esquema.



Basta con poner las señales de selección $S2:S0 = VDD-GND-GND = 100$. Por la patilla Vo de salida (DAC) debieras de conectar un osciloscopio para visualizar la señal. En esta ocasión el DAC recibe internamente un valor binario de 4 bits que evoluciona cíclicamente en sentido ascendente desde 0000 hasta 1111 y vuelta a empezar desde 0000, lo que origina que Vo vaya aumentando desde los 0 V hasta el valor máximo de 3 V y caiga bruscamente de nuevo a 0 V. Este es el oscilograma que hemos obtenido en nuestras pruebas.

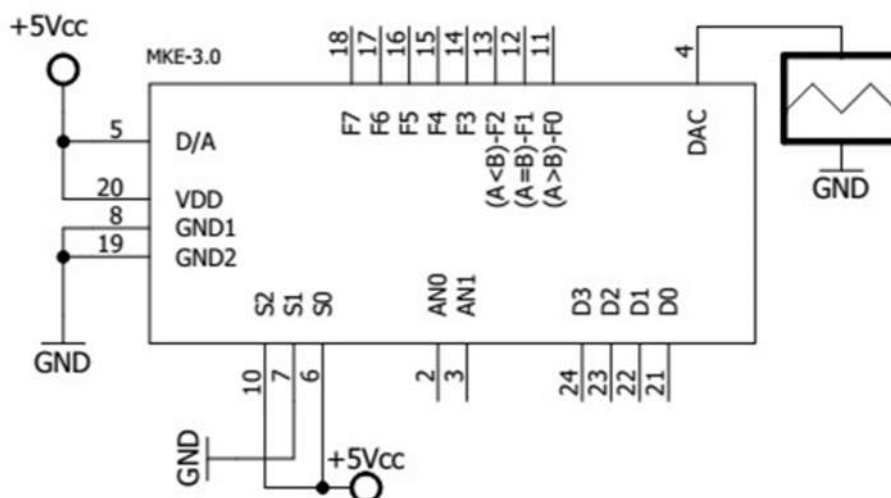


La señal tiene una frecuencia de 3.67 KHz y una tensión Vpp de 3 V. En esta otra imagen tenemos un ciclo ampliado de la misma señal. Se puede apreciar una rampa ascendente a base de escalones, concretamente hay 16 peldaños, uno por cada valor binario. Cada "peldaño" tiene una "altura" aproximada de 0.2 V



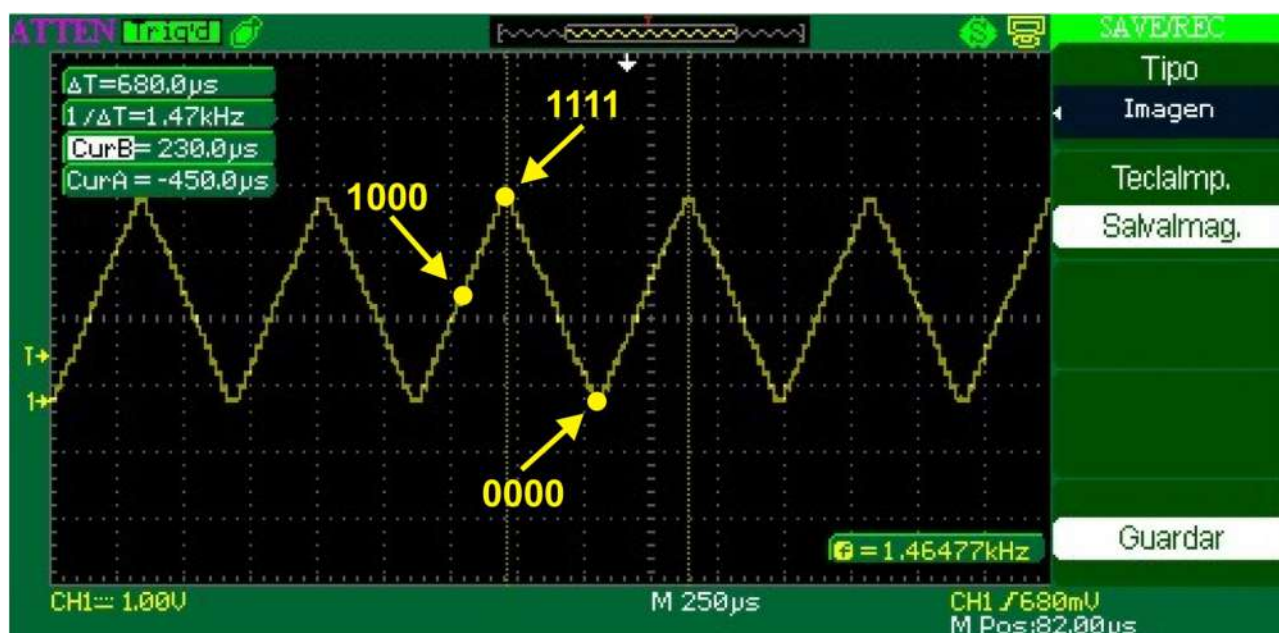
P2-3 Generación de una señal triangular

Acabamos con la última función del MKE-3.0. En esta ocasión el DAC va a generar una señal con forma triangular que podremos visualizar mediante un osciloscopio. Mira el esquema.



Es idéntico al esquema anterior y lo único que cambia en el código de selección mediante S2:S0 = VDD-GND-VDD = 101.

En esta ocasión el DAC recibe un código binario que va ascendiendo desde 1000 hasta 1111, lo que origina una tensión analógica V_o que va creciendo desde los 1,5 V hasta los 3 V (aprox.). Luego desciende desde 1111 hasta 0000, lo que origina que V_o pase de 3 V a 0 V. Finalmente el código binario vuelve a ascender desde 0000 hasta 1000, con lo que V_o aumenta desde 0V hasta 1.5 V. El ciclo se repite constantemente. Mira el oscilograma que hemos obtenido.



Por último, en esta otra imagen tienes la ampliación de uno de esos ciclos triangulares. Nuevamente puedes apreciar los "peldaños" y la "altura" de los mismos que conforman esa señal triangular.

