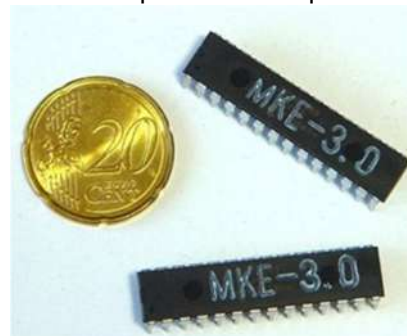


1.- INTRODUCCIÓN

Hoy en día es complicado adquirir un circuito integrado comercial que implemente una unidad aritmético/lógica (ALU) del tipo 74xx381, 74xx181 o similar. El problema con estos dispositivos es que están obsoletos, o son muy caros, o difíciles de conseguir, o bien no hay continuidad en su distribución. Ante esta dificultad, y considerando que experimentar con las funciones de una ALU es muy importante, en MK Electrónica hemos desarrollado el dispositivo MKE-3.0 con fines **EXCLUSIVAMENTE** didácticos.

Realmente consiste en un microcontrolador PIC al que hemos programado para que ejecute una serie de funciones aritmético/lógicas que emulan el funcionamiento de una ALU comercial. Por otra parte y, aprovechando que este microcontrolador integra una gran cantidad de recursos, hemos aprovechado el mismo dispositivo MKE-3.0 para que realice también otro tipo de operaciones. Podemos decir por tanto que el MKE-3.0 puede funcionar en el modo digital (ALU) y en el modo analógico.



2.- MODO DIGITAL

En este modo de trabajo el MKE-3.0 emula una Unidad Aritmético Lógica (ALU) capaz de realizar 16 operaciones diferentes. En la imagen puedes ver el encapsulado, la distribución de patillas y su descripción.



NOMBRE	Nº Patilla	DESCRIPCIÓN
A3, A2, A1, A0	14, 13, 12 11	Los 4 bits del dato A
B3, B2, B1, B0	18, 17, 16, 15	Los 4 bits del dato B
S3, S2, S1, S0	9, 10, 7, 6	Entradas para seleccionar la función a ejecutar
D/A	5	Selección de modo digital o analógico
F3, F2, F1, F0	24, 23, 22, 21	Salidas del resultado de la función seleccionada
A<B, A=B, A>B	23, 22, 21	Salidas del comparador: menor que, igual y mayor que
COUT	25	Salida de acarreo en operaciones aritméticas. En las sumas activo por "1" y en las restas activo por "0".
CIN	26	Entrada de acarreo previo en operaciones aritméticas. En las sumas activo por "1" y en las restas activo por "0".
VDD, GND	20, 8, 19	Entradas de tensión de alimentación

2.1 Funciones aritmético/lógicas

El dispositivo MKE-3.0, en su modo digital de trabajo, realiza un total de 16 operaciones diferentes que se seleccionan mediante las entradas de selección S3:S0 y se resumen en la siguiente tabla:

D/A	SELECCIÓN S3 S2 S1 S0	Nº	DESCRIPCIÓN
1	xxxx	x	Modo analógico. No usar en modo digital.
0	0000	0	Borrar todas las salidas: F3:F0 = 0000
0	0001	1	Activar todas las salidas: F3:F0 = 1111
0	0010	2	Resta B - A - Cin; F3:F0 = (B3:B0) - (A3:A0) - Cin
0	0011	3	Resta A - B - Cin; F3:F0 = (A3:A0) - (B3:B0) - Cin
0	0100	4	Suma A + B + Cin; F3:F0 = (A3:A0) + (B3:B0) + Cin
0	0101	5	Suma A + A + Cin; F3:F0 = (A3:A0) + (A3:A0) + Cin
0	0110	6	Suma B + B + Cin; F3:F0 = (B3:B0) + (B3:B0) + Cin
0	0111	7	Compara A con B con salidas por: A > B, A = B y A < B
0	1000	8	Salida del dato A; F3:F0 = (A3:A0) (función SI de A)
0	1001	9	Salida del dato B; F3:F0 = (B3:B0) (función SI de B)
0	1010	10	Salida del complemento de A; F3:F0 = $\overline{(A3:A0)}$ (NOT A)
0	1011	11	Salida del complemento de B; F3:F0 = $\overline{(B3:B0)}$ (NOT B)
0	1100	12	Función AND entre A y B; F3:F0 = (A3:A0) & (B3:B0)
0	1101	13	Función OR entre A y B; F3:F0 = (A3:A0) + (B3:B0)
0	1110	14	Función XOR entre A y B; F3:F0 = (A3:A0) $\oplus$ (B3:B0)
0	1111	15	Función XNOR entre A y B; F3:F0 = $\overline{(A3:A0) \oplus (B3:B0)}$

2.2 Esquema de montaje

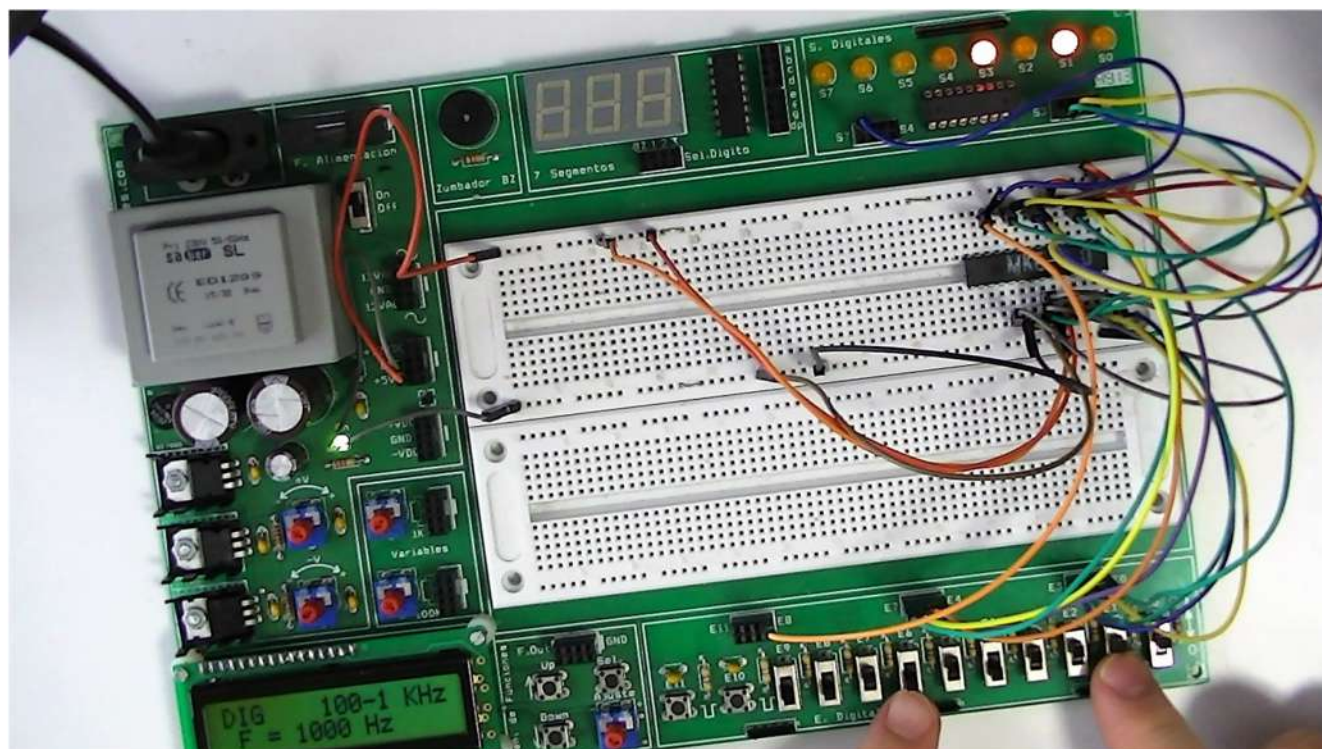
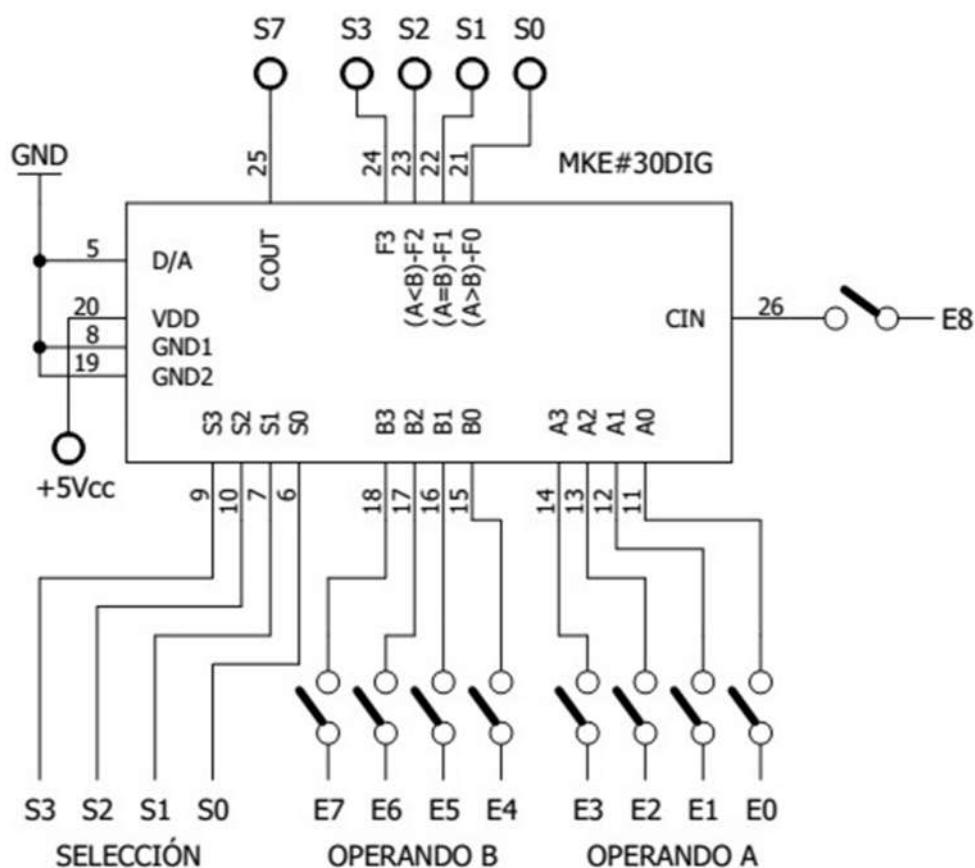
En la figura se muestra el esquema típico de conexiones que sugerimos en el modo digital. Como plataforma de montaje práctico hemos usado nuestro entrenador Universal Trainer V3.0 (<https://mkelectronica.com/producto/universal-trainer/>).

Con los interruptores E3:E0 introducimos el valor del operando A (A3:A0) y con los interruptores E7:E4 los del operando B (B3:B0). El interruptor E8 se conecta con la entrada CIN para simular entradas de llevadas previas.

Los leds S3:S0 se conectan con las salidas del resultado F3:F0 de la función ejecutada. S7 se conecta con la salida COUT que representa una llevada de salida si la hubiera.

Proponemos que las entradas de selección S3:S0 se conecten directamente a GND (nivel "0") o a +5Vcc (nivel "1") según la combinación binaria que quieras formar para ejecutar una determinada operación.

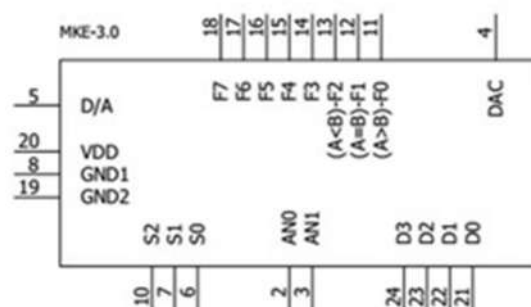
Destacar que la señal D/A, la patilla 5, la hemos conectado a GND o nivel "0". El circuito se configura como una ALU digital. Más adelante pondrás esta patilla a +5Vcc, nivel "1", con lo que el mismo circuito quedará configurado como analógico.



3.- MODO ANALOGICO

En el modo analógico el dispositivo MKE-3.0 implementa un convertidor analógico/digital (ADC) de 10 bits de resolución y dos canales de entrada, y un convertidor digital/analógico (DAC) de 4 bits con el que se implementa un generador de tensión analógica y de señales en diente de sierra y triangular.

En la imagen puedes ver la nueva distribución de patillas así como una descripción de las mismas.



NOMBRE	Nº PATILLA	DESCRIPCIÓN
D/A	5	Selección de modo digital o analógico
S2, S1, S0	10, 7, 6	Entradas para seleccionar la función a realizar
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

3.1 Funciones analógicas

Son 6 y se resumen en esta tabla.

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

3.2 Conversión ADC del canal AN0 o AN1

El controlador MKE-3.0 integra un convertidor analógico de 10 bits y trabaja con una tensión de referencia $V_{REF} = 5\text{ V}$, por lo que su resolución por bit es de:

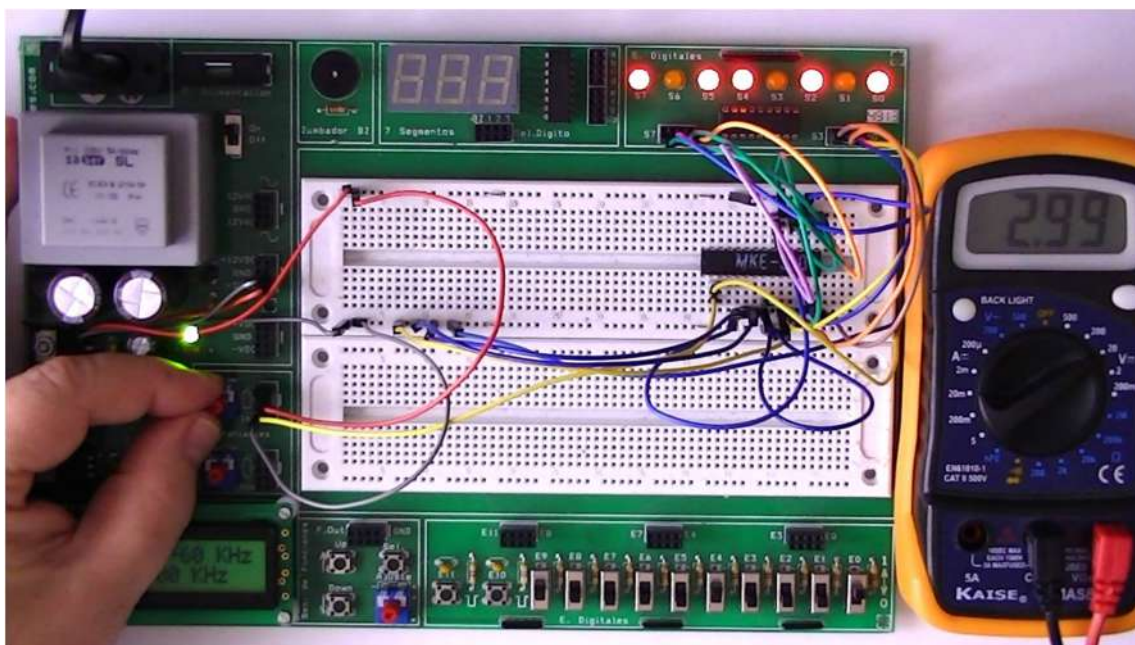
$$Res = \frac{V_{REF}}{2^n} = \frac{5}{2^{10}} = \frac{5}{1024} = 0.00488\text{ V}$$

El circuito sugerido es el mostrado en el esquema y seguimos usando como plataforma de experimentación el entrenador Universal Trainer. El potenciómetro de 1K introduce una tensión analógica variable entre 0 y 5 V y se puede conectar con la entrada analógica AN0 o AN1 según la función que se seleccione. El resultado de la conversión está presente en las salidas F7:F0 y se visualiza en los leds S7:S0.

A pesar de que el convertidor es de 10 bits, el resultado de la conversión solo representa a los 8 bits de más peso, perdiendo la resolución de los dos bits de menos peso. Para obtener el equivalente digital de la tensión analógica de entrada se debe:

1. Leer los 8 bits de más peso resultante de la conversión y presentes en S7:S0
2. Convertir ese valor binario a decimal (usar una calculadora como por ejemplo la de Windows)
3. Multiplicar por cuatro para minimizar el error producido por descartar los dos bits de menos peso.
4. Si al resultado en el punto anterior se le multiplica por la resolución (0.00488 V) se obtiene el valor de la tensión analógica de entrada.

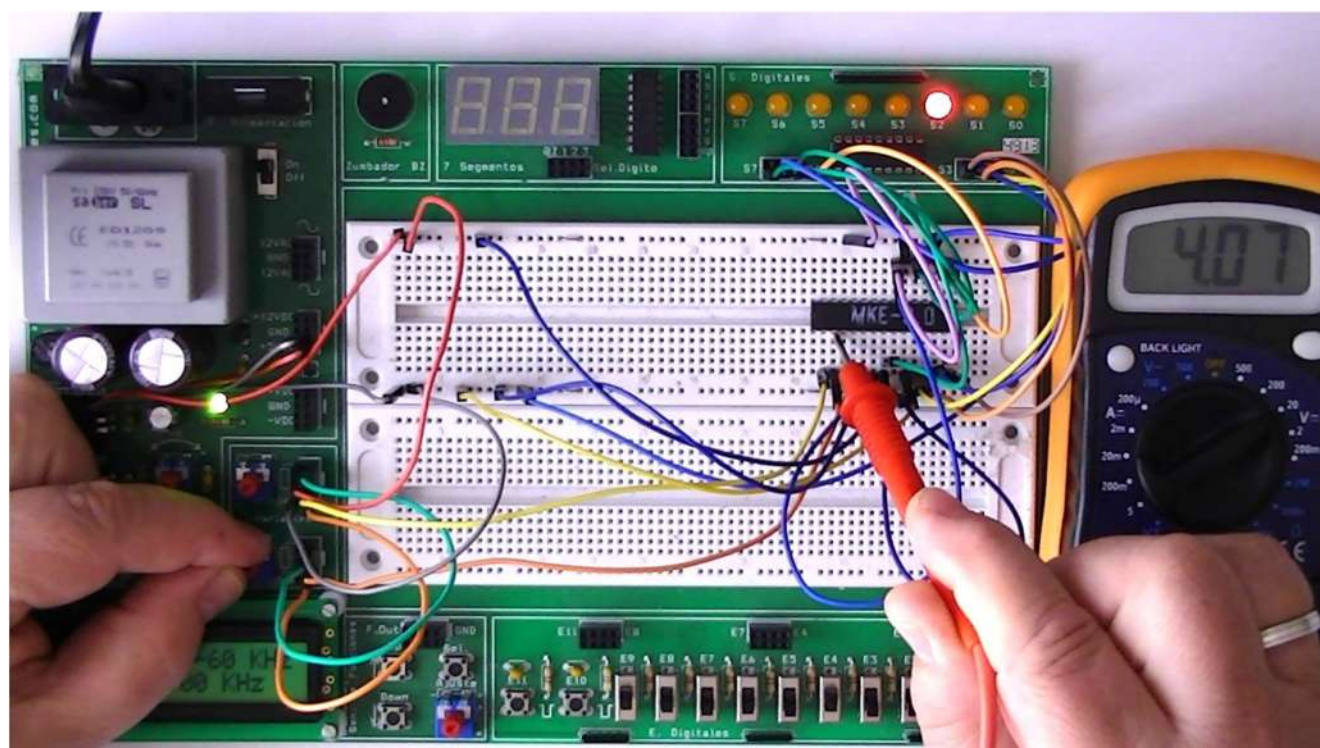
Para experimentar con esta función del dispositivo MKE-3.0 se recomienda conectar un voltímetro en la entrada analógica que vayas a usar (AN0 o AN1). De esta manera se puede comparar la tensión de entrada con la equivalente que hemos calculado a partir del valor binario que proporciona el convertidor. Este sería el montaje práctico.



Los dos potenciómetros de 1 K y 100 K del Universal Trainer introducen dos tensiones analógicas de entre 0 y 5 V por las entradas AN0 (A) y AN1 (B). El controlador MKE-3.0 captura ambas tensiones y las compara entre sí. Como resultado ofrece las salidas A<B, A=B y A>B que se representan en los leds S2, S1 y S0 respectivamente.

Puedes completar una tabla similar a esta. En ella, con ayuda de un voltímetro, 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)



3.4 Generando una tensión analógica

Se emplea el convertidor digital/analógico (DAC) integrado en el controlador MKE-3.0. Es un convertidor de 4 bits que puede ofrecer una tensión analógica de salida (V_o) con 16 niveles o valores diferentes ($2^4 = 16$), comprendida entre 0 y 3 V, según la ecuación facilitada por el fabricante:

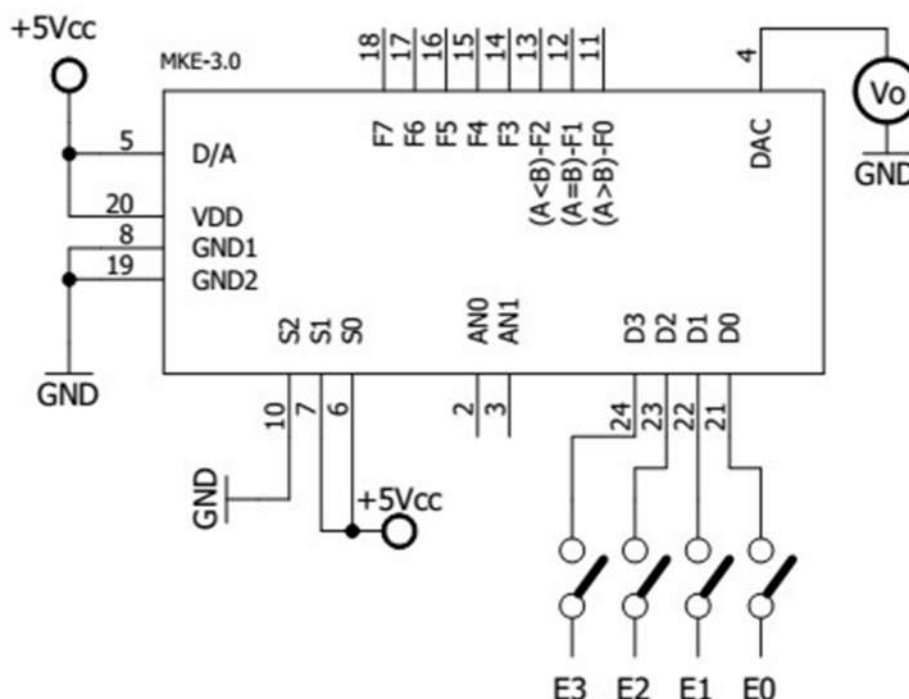
$$V_o = \frac{V_{digital}}{24} \times V_{DD}$$

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 $V_{DD} = 5\text{ V}$

El esquema de experimentación propuesto es el siguiente:

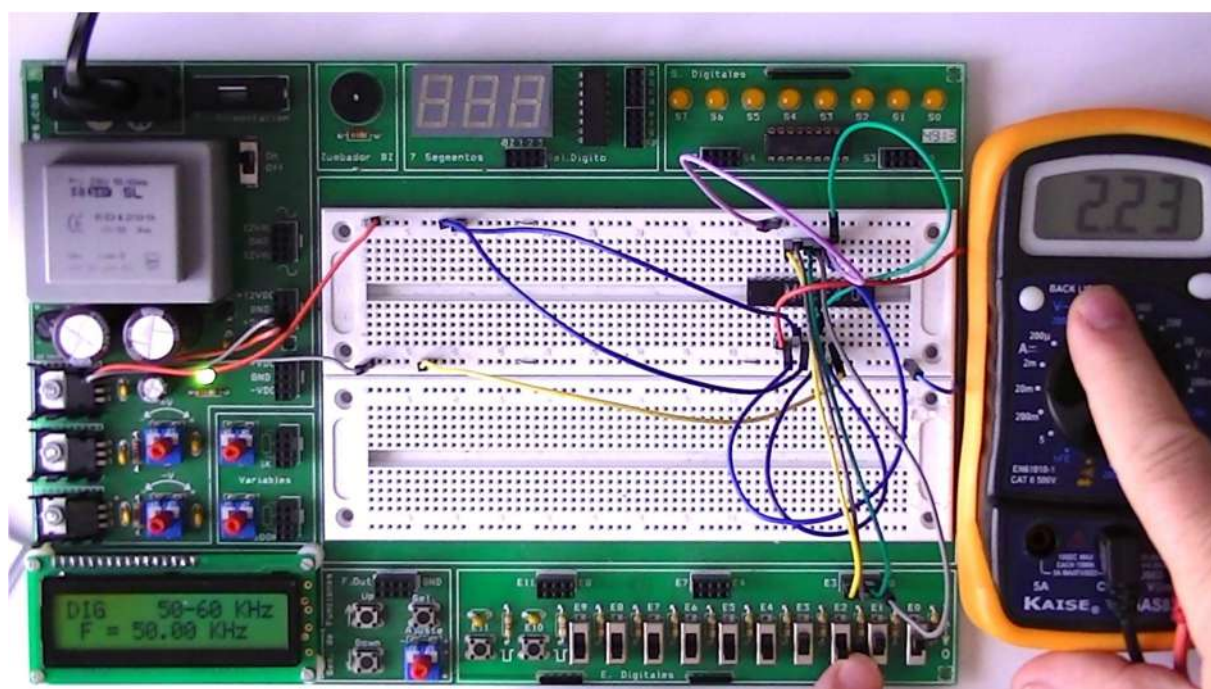


Para seleccionar esta función en el MKE-3.0 las entradas S2:S0 de selección deben estar a 011. Mediante las entradas D3:D0 conectadas con los interruptores E3:E0 del entrenador, se introduce un valor binario de 4 bits. Por la salida DAC (patilla 4) se obtiene la tensión analógica equivalente (V_o), según la ecuación anterior. Se recomienda conectar un polímetro para poder medirla.

Como desarrollo de la práctica se sugiere completar la siguiente tabla. En ella se van introduciendo, mediante los interruptores E3:E0, cada uno de los 16 valores digitales posibles. Para cada uno de esos valores se calcula la tensión teórica de salida V_o según la ecuación anterior, y la tensión V_o práctica medida con el voltímetro.

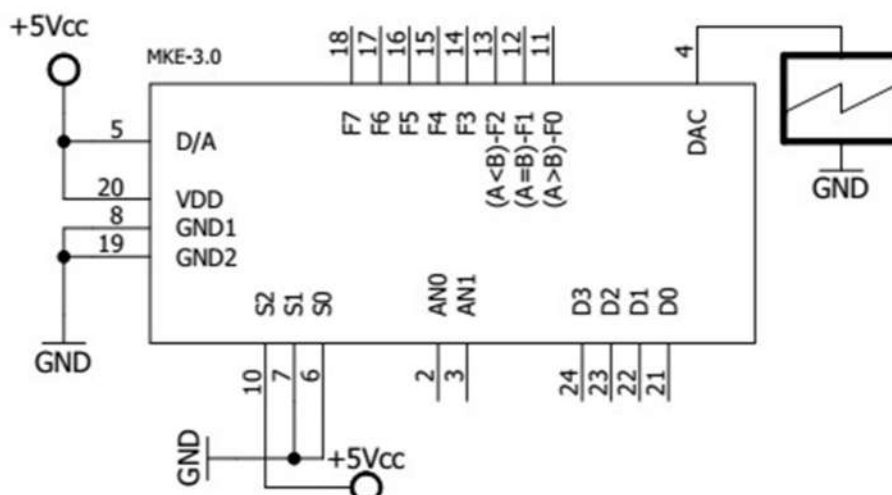
ENTRADA EN BINARIO	V ₀ TEORICA	V ₀ PRÁCTICA
0000		
0001		
0010		
0011		
0100		
0101		
0110		
0111		
1000		
1001		
1010		
1011		
1100		
1101		
1110		
1111		

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

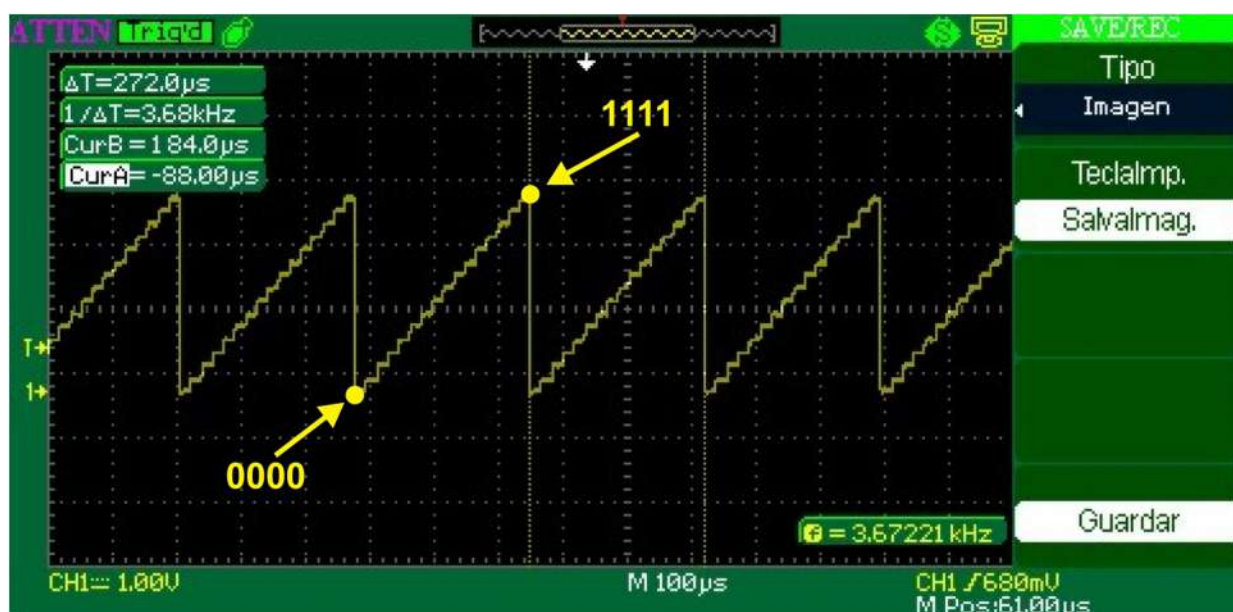


3.5 Generación de una señal en diente de sierra

Haciendo uso del mismo DAC, el controlador MKE-3.0 va a producir una señal en diente de sierra por la salida DAC (patilla 4) en la que lo ideal sería conectar un osciloscopio que permita visualizarla. Este será el esquema de montaje en el que las entradas de selección S2:S0 = 100.

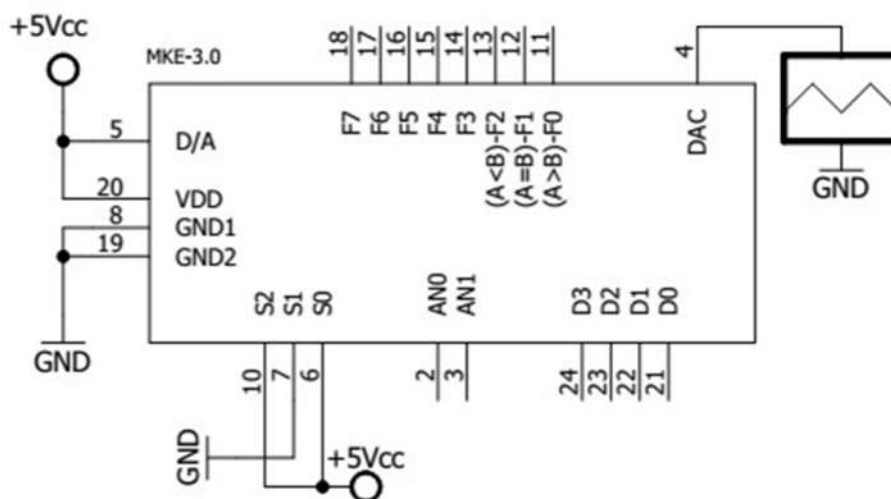


En la imagen se muestra la señal de salida. En ella se aprecia que cuando el valor digital es el mínimo, 0000, la tensión de salida V_o también lo será. Cuando el valor digital de 4 bits alcanza el máximo posible, 1111, el valor de la tensión de salida V_o también lo es. También se aprecia los diferentes “peldaños” o niveles de la señal que se producen con los valores digitales intermedios. La frecuencia de la señal es de 3,6 KHz y su V_{pp} de 3 V.



3.6 Generación de una señal triangular

Es la última de las funciones analógicas implementadas en el controlador MKE-3.0. Por la salida del DAC (patilla 4) se obtiene una señal triangular que se puede visualizar mediante el empleo de un osciloscopio. Este es el esquema de montaje en el que las entradas de selección S2:S0 = 101



En el oscilograma de la figura se muestra la señal de salida que se obtiene a partir de diferentes valores digitales. La frecuencia es de 1,4 KHz y la Vpp = 3V.

