



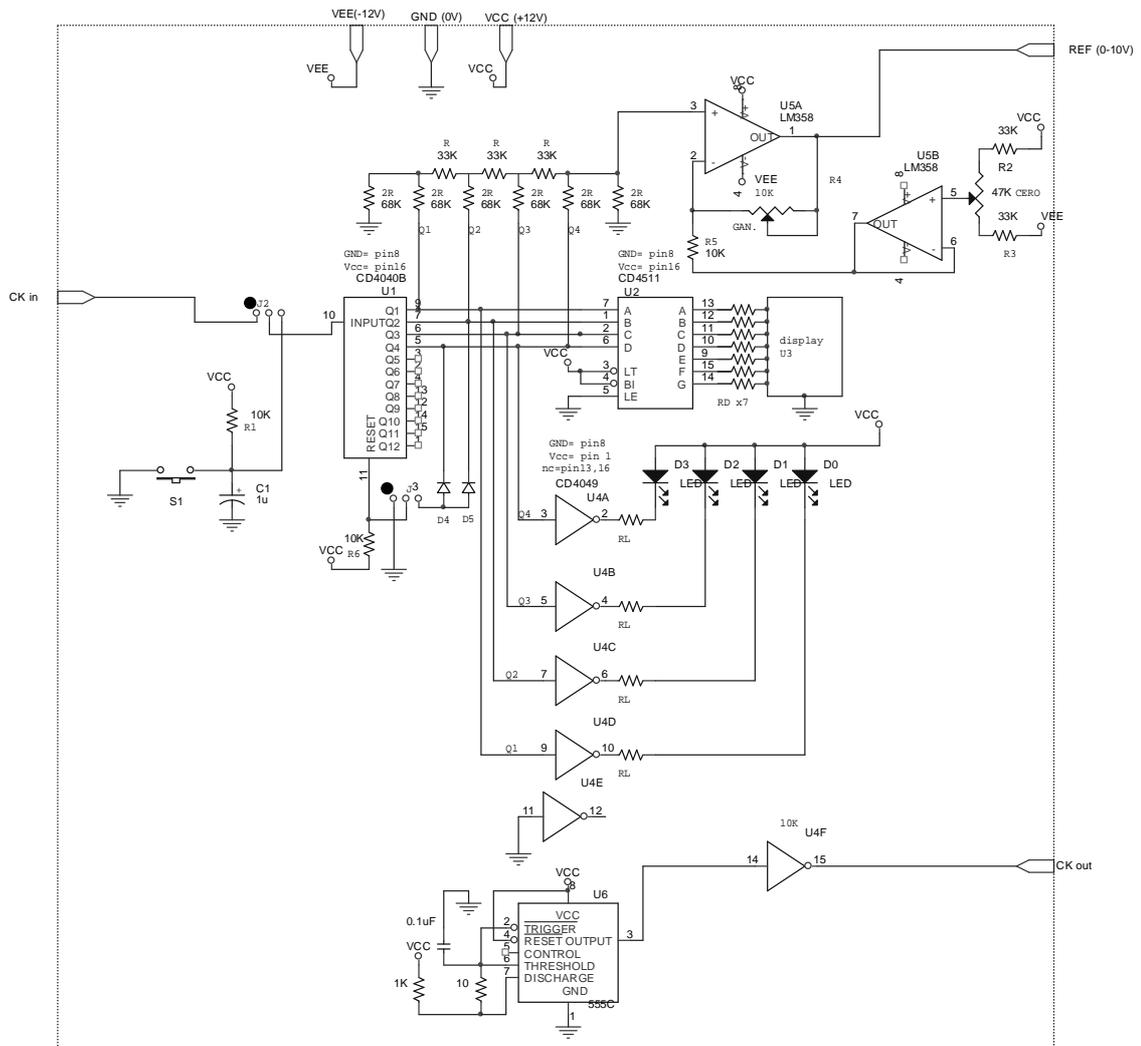
Comisión:

LABORATORIO Nº 6: CONTADOR DIGITAL Y CONVERTOR D/A

OBJETIVOS:

Experimentar el funcionamiento de circuitos C-MOS, interactuando con operacionales, que realizan el conteo de pulsos, los muestra mediante display 7 segmentos, y lo convierte en señal analógica .

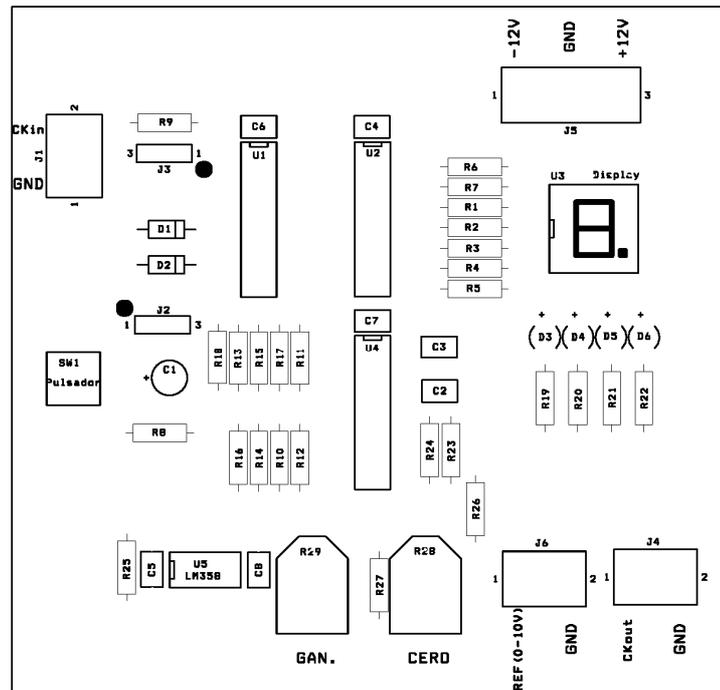
Se proveerá al alumno del siguiente circuito, armado sobre una placa de circuito impreso. En el laboratorio el alumno ensayará el circuito, previo a entender *completamente* su funcionamiento.





Comisión:

La siguiente figura ilustra la disposición física de los integrados y de los conectores a la placa.



A. Introducción al funcionamiento del circuito:

Observe el circuito e identifique las partes que comprende de él. El circuito se alimentará con una fuente de **tensión partida de $\pm 12V$** . El circuito tiene una sección digital y una sección analógica, las que se pasan a describir a continuación.

1. Circuito digital.

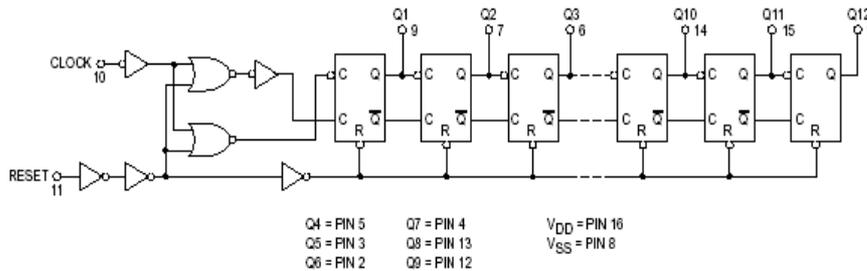
Parte del circuito está conformado por un **multivibrador astable**, formado por U6 (LM555). El funcionamiento de este circuito no se estudiará en este laboratorio, y se lo considerará una caja negra, que provee una señal de salida. El objetivo de este integrado y sus componentes asociados, es el de proveer una señal **de reloj en el terminal CK out** de la salida. A continuación se pasará a describir el resto del circuito, el que sí se estudiará en detalle.

Durante el funcionamiento normal del circuito, las líneas Q1 a Q4 son líneas digitales, cuya tensión es impuesta por el circuito digital integrado (CI) denominado U1 en el circuito. Este integrado es un circuito **contador de 12 bits**. El siguiente es su diagrama lógico, su tabla de verdad, y su configuración de pines. Analice detenidamente esta información. (Lea la hoja de datos del fabricante para determinar los niveles lógicos de entrada y salida)



Comisión:

LOGIC DIAGRAM



PIN ASSIGNMENT

Q12	1	16	V _{DD}
Q6	2	15	Q11
Q5	3	14	Q10
Q7	4	13	Q8
Q4	5	12	Q9
Q3	6	11	R
Q2	7	10	C
V _{SS}	8	9	Q1

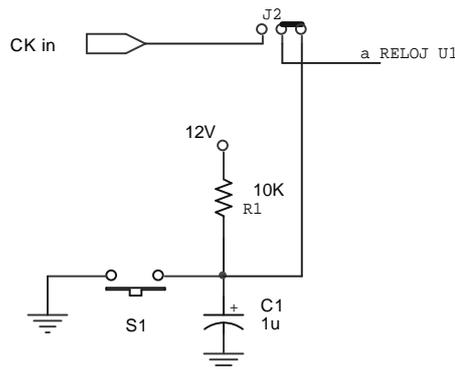
TRUTH TABLE

Clock	Reset	Output State
	0	No Change
	0	Advance to next state
X	1	All Outputs are low

X = Don't Care

En el circuito, el contador, ante los pulsos de reloj, puede contar de manera ascendente en forma continua (de acuerdo al estado del jumper J3), o contar entre cero y 10.

De acuerdo al estado del jumper J2, la entrada de reloj de U1 puede ser ingresada externamente a la placa (una onda cuadrada ingresada por el pin CK In), o sintetizarse pulsando el pulsador S1 presente en la placa. El usar este pulsador permitirá avanzar manualmente el contador U1: cada vez que se pulsa S1, se avanzará la cuenta en 1.



Las líneas Q1 a Q4 ingresan, por un lado, al circuito **decodificador de 7 segmentos U2** (integrado que comercialmente se denomina CD4511), el que excita un display, que mostrará un número que podrá ir entre **cero y nueve**. A continuación se muestra la tabla de verdad correspondiente a U2, junto con la disposición de pines y lo que muestra el display cuando está conectado a U2.



Comisión:

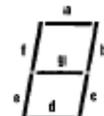
Truth Table

Inputs						Outputs								
LE	BI	LT	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g	Display
X	X	0	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	B
X	0	1	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	
0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	3
0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	9
0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
1	1	1	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	*

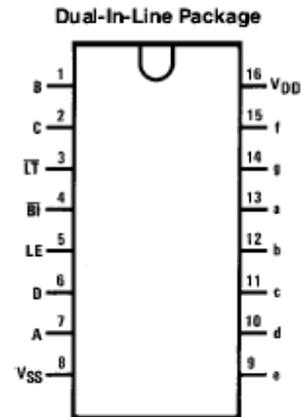
X — Don't Care

* Depends upon the BCD code applied during the 0 to 1 transition of LE.

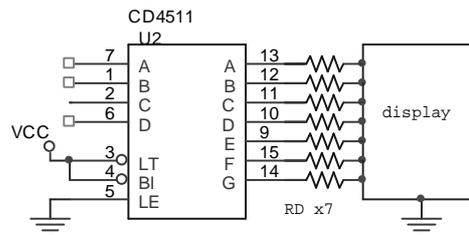
Segment Identification



Display



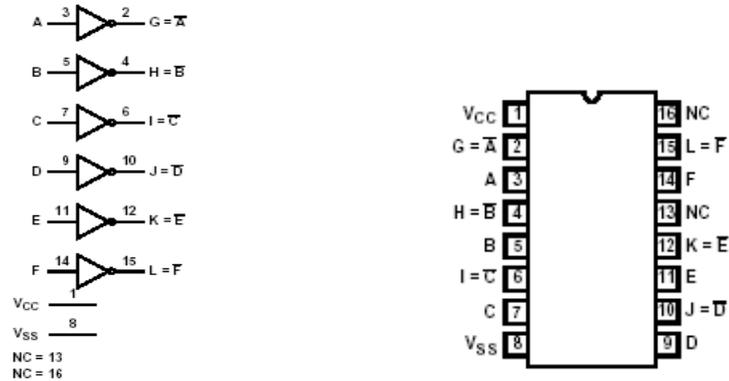
El pin de entrada LE de U2, lo provee el fabricante para permitir almacenar (hold) el último número presente en la entrada ABCD de U2. En nuestro circuito esta facilidad no se utiliza, pues siempre esta entrada está en 0. Cada una de las salidas a a g excitarán el correspondiente segmento del display, el que se encenderá ante un 1 en la correspondiente salida. La parte del circuito correspondiente al display es la siguiente:



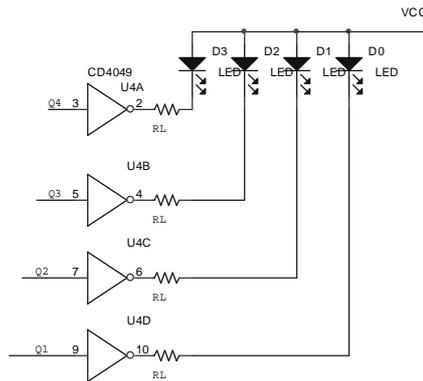
Las líneas Q1 Q4, también se envían a las entradas del circuito integrado denominado U4 que es un arreglo de **seis inversores** (denominado comercialmente CD4049). El siguiente es un diagrama funcional del integrado, y su correspondientes pines.



Comisión:



Los 4 primeros inversores del 4049 se utilizan para invertir las líneas Q1-Q4, y para excitar 4 LEDs (como lo muestra la siguiente figura), que indicarán el estado (uno o cero) de cada una de las líneas Q1-Q4. Observando el estado de los cuatro LEDs, se obtendrá la **representación binaria del número presente en las líneas Q1-Q4**.



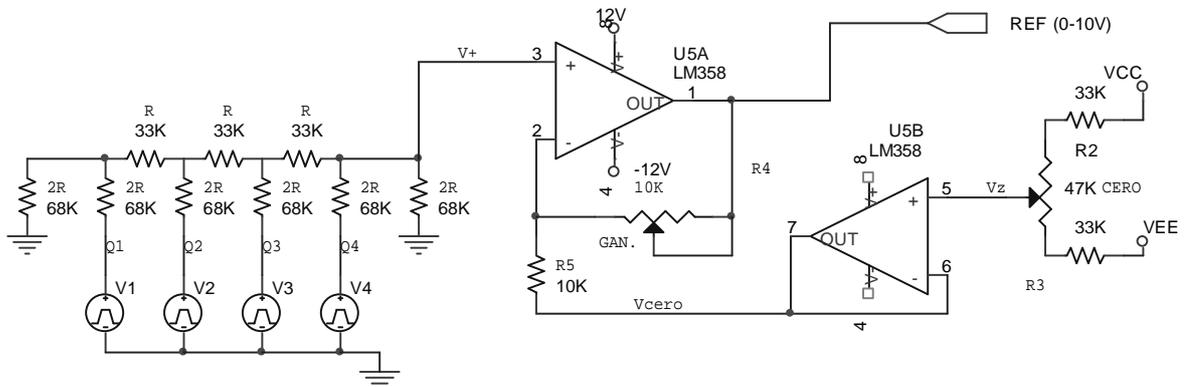
Esto completa la descripción de la porción digital del circuito.

2. Circuito analógico.

La siguiente es una representación de la parte analógica del circuito.

Las líneas Q1 a Q4 (salidas de U1, representadas aquí por cuatro fuentes V1-V4), son líneas digitales binarias, cuyo valor puede ser (aproximadamente) 0V o 12V. Estas líneas se ingresan a **la red formada por resistencias R-2R**, que se encargarán de transformar el número digital que aparece en estas líneas en un valor analógico, proporcional a este número, valor que aparecerá sobre la entrada no inversora del operacional U5A.

Comisión:



En efecto, la tensión V_+ sobre la entrada no inversora del operacional vale:

$$V_+ = \frac{1}{24}(V_4 2^3 + V_3 2^2 + V_2 2^1 + V_1 2^0)$$

Si V_1 a V_4 son señales digitales que varían entre cero y 12V, entonces puede pensarse a $V_i=12 d_i$ ($i=1,..4$), con $d_i=0$ o $d_i=1$. Reemplazando en la última ecuación resulta:

$$V_+ = \frac{1}{2}(d_4 2^3 + d_3 2^2 + d_2 2^1 + d_1 2^0)$$

Cuando $(d_4, d_3, d_2, d_1)=(0000)$ resulta $V_+=0V$. Cuando $(d_4, d_3, d_2, d_1)=(1111)$ resulta $V_+=7,5V$. El rango de esta señal resulta teóricamente de 0 a 7,5V. En realidad esto no será así, pues en la realidad V_1-V_4 no varía entre 0 y 12V, sino en forma aproximada. Por otro lado, las resistencias utilizadas no guardarán exactamente la relación R-2R requerida, debido a que se utilizarán resistencias de baja precisión. El rango de estas salidas típicamente irá entre 0.05V y 11.95V.

Los amplificadores operacionales U5A y U5B se encargan de amplificar este rango y ajustar el cero, de modo que el rango de la tensión sobre la salida REF de la placa (conectada a la salida de U5A), sea entre 0 y 10V. El amplificador U5A es un amplificador no inversor cuya salida vale:

$$REF = V_+ \left(1 + \frac{GAN}{R5}\right) - V_{cero} \frac{GAN}{R5}$$

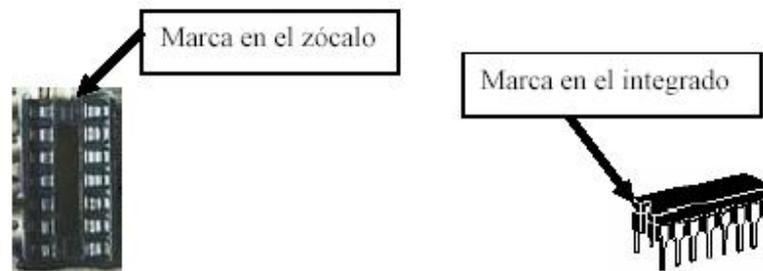
Obsérvese que para los valores del preset **GAN** (10K) y R_5 (10K) presentes en el circuito, es posible con este amplificador amplificar la tensión V_+ entre 1 y 2 veces. También, para $GAN=cte$, el variar la tensión V_{cero} , permite ajustar la salida REF de modo que para $(d_4, d_3, d_2, d_1)=(0000)$ resulte $REF=0$.

La tensión V_{cero} se varía modificando el preset **CERO**, que modifica la tensión sobre la entrada no inversora de U5B, amplificador operacional que está conectado en una configuración de seguidor ($V_{cero}=V_z$). La inclusión de este seguidor, permite independizar la ganancia de U5A (que, para la entrada V_+ vale $1+GAN/R_5$) del valor del preset CERO.

Comisión:

B. Actividades en el laboratorio.

- 1) Verificar la tensión de alimentación de los integrados (sobre cada zócalo)
- 2) Insertar en el correspondiente zócalo (previo desconectar alimentación) los inversores (U4) y el timer U6. Antes de insertar un integrado en su zócalo, los pines deben estar verticales: normalmente están ligeramente inclinados hacia fuera. Un buen sistema para redirigirlos consiste en presionar el integrado contra una superficie rígida, por ejemplo la mesa de trabajo, sobre el costado de cada hilera de los pines. **Verifique la correcta posición del integrado en el zócalo controlando la coincidencia de las marcas en el integrado y en el zócalo.**



- 3) Verificar el funcionamiento del circuito oscilador U6, observando con el osciloscopio la salida sobre el pin CK out.
- 4) Insertar en el correspondiente zócalo (previo desconectar alimentación) el contador y el decodificador de siete segmentos.
- 5) Verificar el correcto funcionamiento de los mismos y el de los LEDS, accionando S1 para producir el reloj (verifique el estado del Junper J2). Verifique que cuente hasta 15 y hasta 9, colocando en cada caso el jumper J3 en la posición adecuada.
- 6) Mida (con tester) las tensiones V+ sobre el zócalo del operacional U5A, para los valores de cuenta 0, 2, 4 y 8.

Cuenta	V+
0	
2	
4	
8	

- 7) Conecte (previo modificar la posición de J2) a la entrada de reloj del circuito (CK In) el reloj provisto por el circuito (CK out). Observe en el osciloscopio las distintas salidas Q1, Q2, etc, junto con la señal de reloj.
- 8) Insertar en el correspondiente zócalo el operacional U5 (previo desconectar alimentación). Observe la forma de onda de la salida REF en el osciloscopio. Ajuste los presets CERO y



Comisión:

GAIN, de modo que el rango de salida sea entre 0V para $(d_4, d_3, d_2, d_1)=(0000)$ y 10V para $(d_4, d_3, d_2, d_1)=(1111)$.

- 9) Desconecte el reloj de la entrada CK in, cambie la posición de J2, y opere el contador manualmente. Mida la tensión a la salida REF (con el tester), y verifique que sea 0V para $(d_4, d_3, d_2, d_1)=(0000)$ y 10V para $(d_4, d_3, d_2, d_1)=(1111)$. De no ser así, reajuste el circuito.
- 10) Tabule para cada valor de cuenta, el valor de la tensión REF obtenida.

Cuenta	LEDS	V+
0	0000	
1	0001	
2	0010	
3	0011	
4	0100	
5	0101	
6	0110	
7	0111	
8	1000	
9	1001	
10	1010	
11	1011	
12	1100	
13	1101	
14	1110	
15	1111	