

PRACTICA No 6

MULTIMETRO DIGITAL

INTRODUCCION TEORICA

Muchas de las señales eléctricas que se presentan cotidianamente son lineales sobre un rango de valores, algunas de ellas son obtenidas de transductores tales como de temperatura, presión, desplazamiento, etc, los cuales generan señales voltaje o corriente de valores continuos en el tiempo (señales analógicas) y éstas pueden ser convertidas en señales digitales (continuas en el tiempo pero discontinuas en amplitud) para aplicaciones que van desde el simple monitoreo de las señales a través de visualisadores (LCD), en procesos industriales como entrada a sistemas controladores sofisticados cuya función principal es la mantener a la variable de control en un valor fijo, hasta para el análisis y procesamiento de las señales de interés en sistemas de cómputo.

Es por esto que los procesos de conversión digital a analógico (D/A) y analógico a digital (A/D) se hacen cada día más indispensables.

Conversión Digital a Analógico (D/A)

Esta conversión consiste en transformar una señal digital a una analógica que guarde proporción directa con la primera. El circuito básico de conversión es el que se muestra en la figura 1:

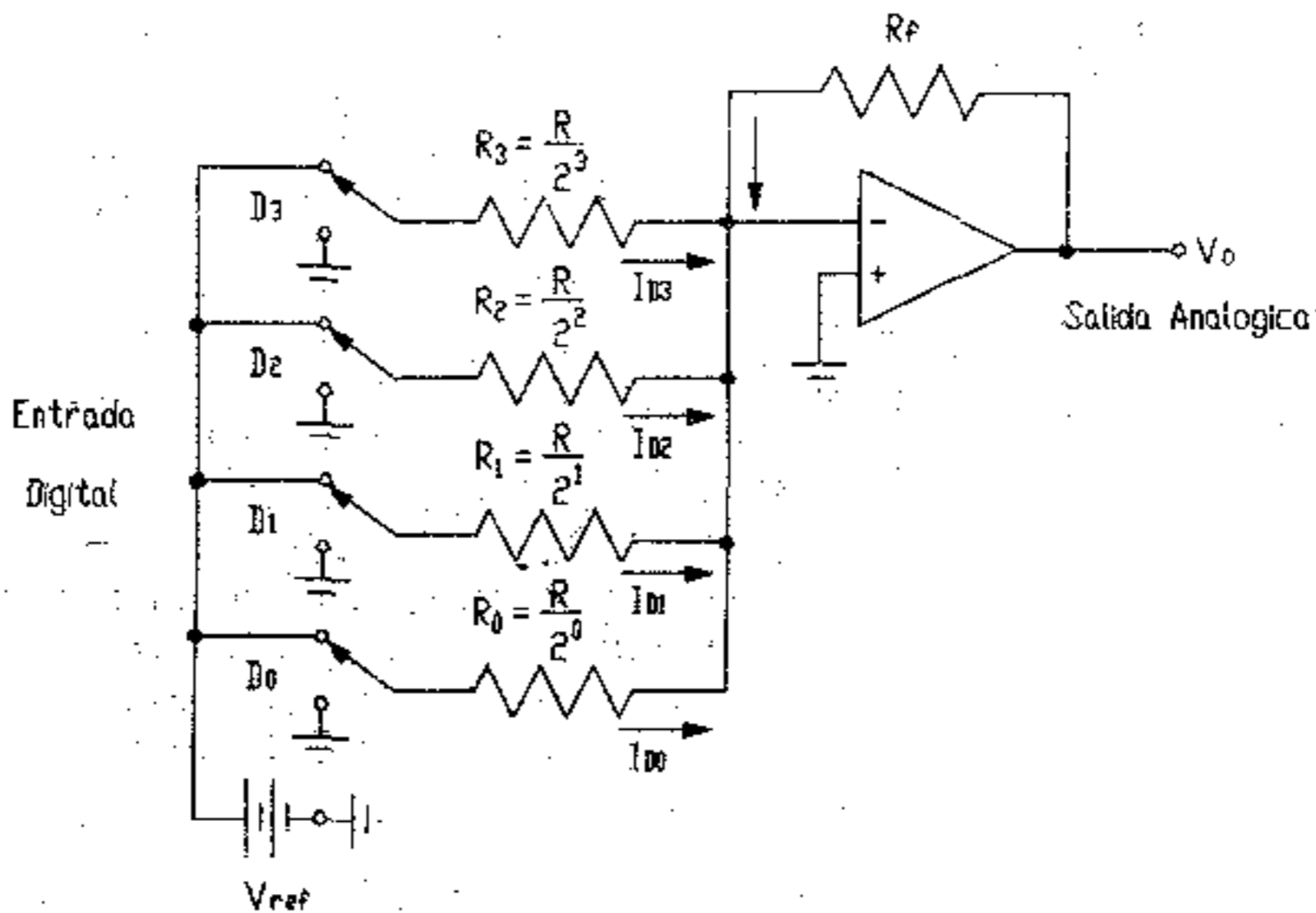


Figura 1

Donde D_0 es el bit menos significativo y D_3 es el más significativo y cada uno de ellos puede tener valores de '1' o '0' lógico, en donde al primero le corresponde un voltaje de 5 V generalmente y al segundo de 0 V. La función de transferencia del circuito se obtiene determinando la corriente en cada rama, esto es:

$$I_f = \frac{V_o}{R_f} \quad (1)$$

$$I_{D0} = \frac{V_{ref} \times D_0}{R} \quad (2)$$

$$I_{D1} = \frac{V_{ref} \times D_1}{R / 2} \quad (3)$$

$$I_{D2} = \frac{V_{ref} \times D_2}{R / 4} \quad (4)$$

$$I_{D3} = \frac{V_{ref} \times D_3}{R / 8} \quad (5)$$

$$I_f = - (I_{D0} + I_{D1} + I_{D2} + I_{D3}) \quad (6)$$

Sustituyendo las ecuaciones (1) a (5) en la ecuación (6), se obtiene:

$$\frac{V_o}{R_f} = - \left[\frac{V_{ref} \times D_0}{R / 2^0} + \frac{V_{ref} \times D_1}{R / 2^1} + \frac{V_{ref} \times D_2}{R / 2^2} + \frac{V_{ref} \times D_3}{R / 2^3} \right]$$

$$V_o = - V_{ref} \times R_f \left[\frac{2^0 D_0}{R} + \frac{2^1 D_1}{R} + \frac{2^2 D_2}{R} + \frac{2^3 D_3}{R} \right]$$

Ordenando

$$V_o = - \frac{R_f}{R} \times V_{ref} \left(2^3 D_3 + 2^2 D_2 + 2^1 D_1 + 2^0 D_0 \right) \quad (7)$$

Donde D3, D2, D1 y D0 son las entradas digitales que pueden tomar valores de '1' ó '0' lógico. Cuando cualquiera de los cuatro interruptores que representan las entradas digitales están en la posición '1', la entrada tendrá un voltaje igual a Vref y cuando esté en la posición '0' tendrá un voltaje igual a cero volts.

En general para un convertidor de n bits de entrada se tendrá:

$$V_o = - \frac{R_f}{R} \times V_{ref} \left(2^{n-1} D_{n-1} + 2^{n-2} D_{n-2} \dots \dots + 2^1 D_1 + 2^0 D_0 \right)$$

Ejemplo: Para el circuito de la figura 1 obtener Vo para cuando las entradas digitales son:

D3 = 0 , D2 = 0 , D1 = 1 , D0 = 0 y se tienen valores de:

$$\begin{aligned} V_{ref} &= 5V \\ R_f &= 1.6 \text{ K}\Omega \\ R &= 8 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores de entrada dados en la ecuación (7) o en la ecuación general con $n = 4$ se obtiene:

$$V_o = - \frac{1600 \times 5}{8000} (2^3 \times 0 + 2^2 \times 0 + 2^1 \times 1 + 2^0 \times 0)$$

$$V_o = - 1 \times (0 + 0 + 1 + 0)$$

$$V_o = - 2V$$

Nótese que la salida analógica es proporcional a la entrada digital, en este caso el factor de proporcionalidad es igual - 1.

Otro método con el cual se logra la conversión D/A es conocido como método de escalera R - 2R cuyo circuito básico se muestra en la figura 2.

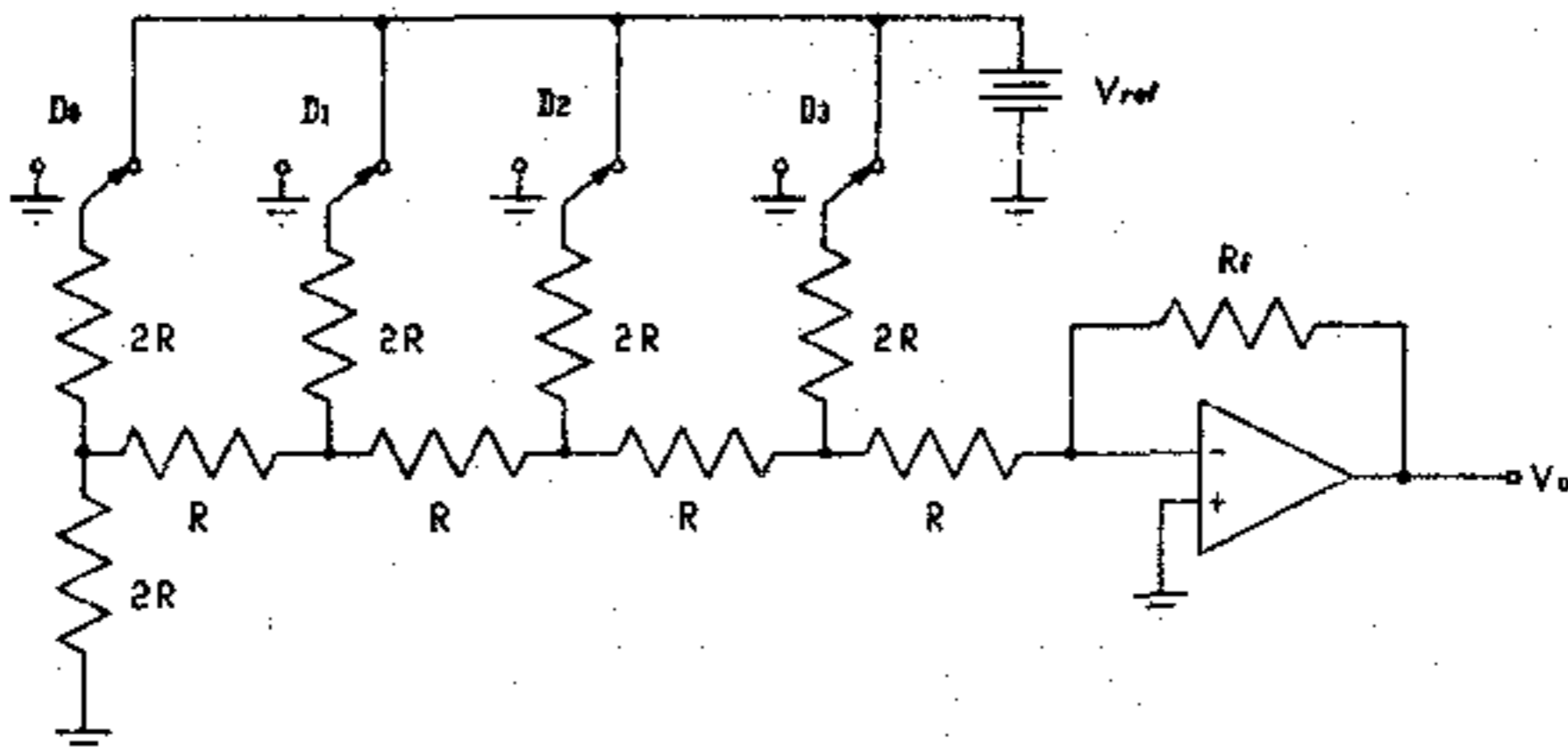


Figura 2

Para obtener la función de transferencia se aplica el teorema de superposición, el cual establece en términos generales que la respuesta de un circuito debido a varias fuentes de excitación actuando simultáneamente, es igual a la suma de las respuestas debidas a cada excitación actuando por separado.

El voltaje de salida para el circuito de la figura 2 es:

$$V_o = - \frac{R_f \times V_{ref}}{48 \times R} (2^3 D_3 + 2^2 D_2 + 2^1 D_1 + 2^0 D_0)$$

Parámetros Principales de los Convertidores D/A (DAC)

Resolución : Se define como la menor variación que puede ocurrir en la salida analógica como resultado de un cambio en la entrada digital.

$$(\%) \text{ Resolución} = \frac{\text{Mínima variación de voltaje}}{\text{Voltaje de escala total}} \times 100$$

Por lo general los fabricantes especifican la resolución de un DAC como el número de bits que tiene, ya que a mayor número de bits se tiene menor discriminación de voltaje y por lo tanto mayor resolución.

Error de escala completa: Es la máxima desviación de la salida del DAC con respecto al valor teórico estimado y se expresa en por ciento.

Tiempo de respuesta: Es la velocidad de operación para un DAC especificada por el fabricante y se define como el tiempo requerido para que la salida analógica pase de su mínimo valor al de escala completa cuando la entrada binaria cambia de todos ceros a todos unos.

Convertidor Analógico a Digital (ADC)

Un convertidor A/D es un dispositivo que tiene como entrada un voltaje analógico y en las salidas se tiene el número binario correspondiente.

Existen diversas configuraciones para realizar la conversión y la mayoría de los ADC utilizan un DAC como parte de sus circuitos para realizar la conversión. Considere el diagrama de bloques de la figura 3.

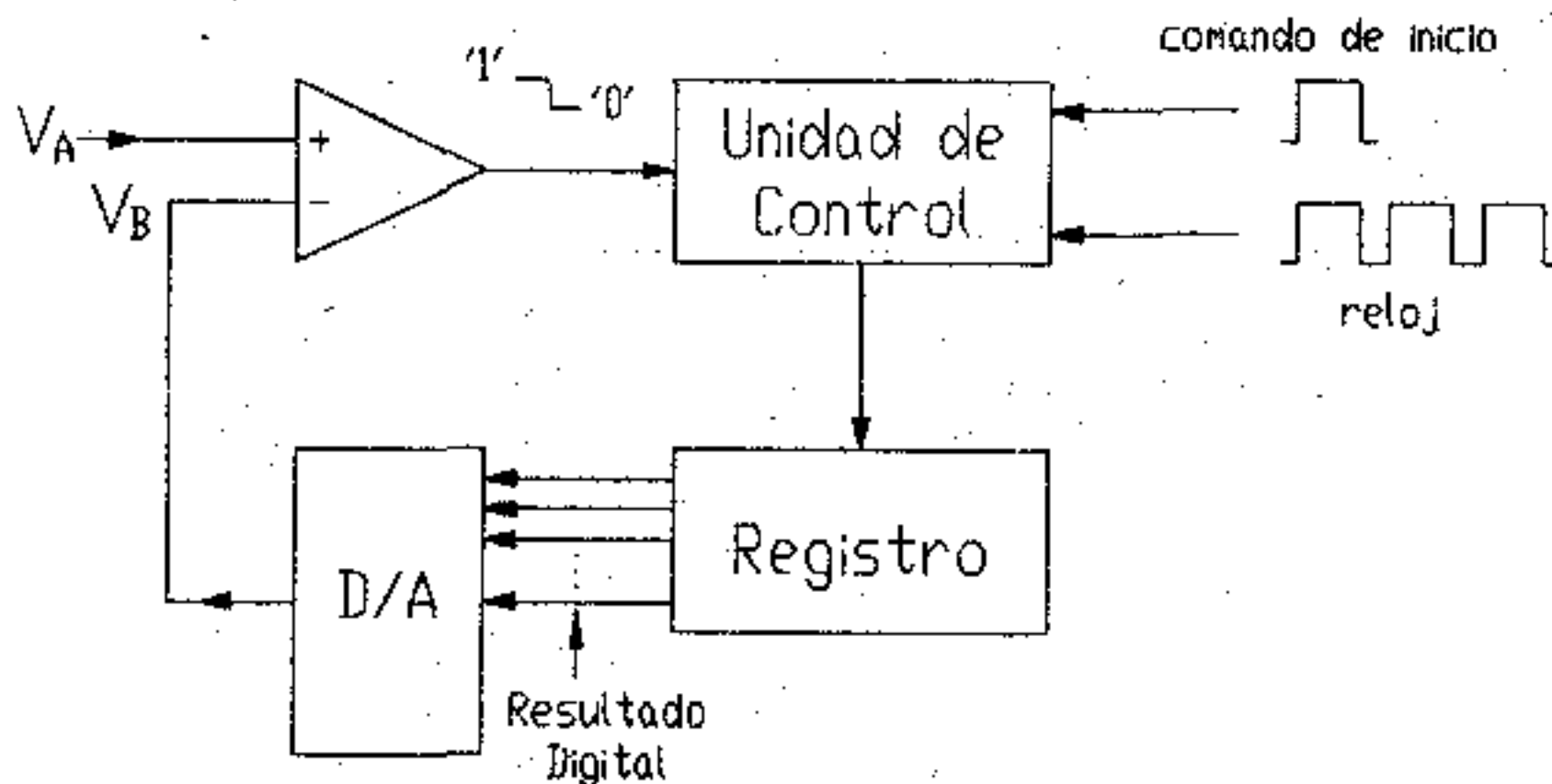


Figura 3

Cuando la señal de comando de inicio pasa a alto, se inicia el proceso de conversión. A una razón constante determinada por la frecuencia del reloj, la unidad de control modifica continuamente el número binario que está almacenado en el registro, éste número binario se convierte a un voltaje VB por el convertidor D/A.

El comparador, compara VB con VA (entrada analógica), mientras VA es mayor que VB la salida del comparador será alta y la unidad de control seguirá incrementando el número que tiene en su registro hasta que la conversión de éste número dé un valor $V_B \geq V_A$ y es en ese momento cuando se detiene el proceso y se da la conversión.

El número binario que está presente en el registro cuando se detiene la conversión es el número digital que corresponde a la entrada analógica V_A .

Si el voltaje de entrada V_A es mayor que el máximo valor de conversión del convertidor D/A interno del ADC el voltaje V_B nunca llegará a ser mayor o igual a V_A y por lo tanto el proceso de conversión A/D no se puede realizar.

Convertidor A/D con Rampa Digital

Esta es una de las versiones más simples del convertidor A/D, en la cual se hace uso de un contador binario de 'n' bits como registro que incrementa un paso con cada pulso de la señal de reloj hasta lograr que $V_B \geq V_A$, es entonces cuando en las salidas del contador se tiene representado digitalmente el voltaje V_A . En la figura 4 se muestra el circuito general.

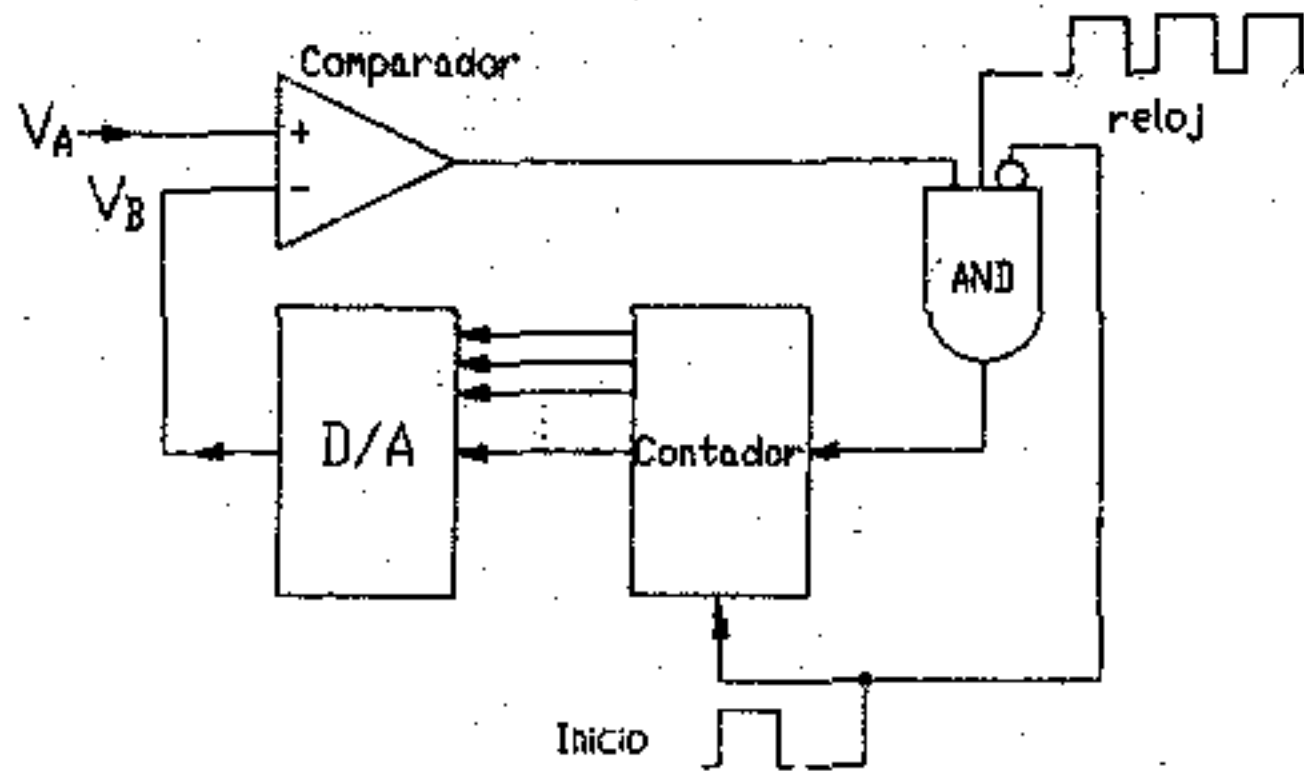


Figura 4

El contador incrementa su cuenta de 1 en 1 con cada pulso de reloj, lo que significa que el convertidor necesita n pulsos de reloj para que la entrada analógica V_A sea $\leq V_B$ razón por la cual este tipo de convertidor es relativamente lento en comparación con otros tipos de ADC.

Convertidor A/D de Aproximaciones Sucesivas

La figura 5 muestra el diagrama de bloques de este convertidor. Si $V_A = 10V$, los pasos del ciclo de conversión son los siguientes:

- El convertidor D/A, el registro y el contador cíclico se encuentran en estado de reset durante el primer pulso del contador, la unidad de control lógico pone al bit más significativo (MSB) en '1' ($D_3=1$) y todos los restantes en cero ($D_2=D_1=D_0=0$) de esta forma la salida del DAC es $V_B = 8V$ y este valor es comparado con V_A , si $V_A \geq V_B$, el bit más significativo es dejado en '1' en caso contrario se pone en '0', para el ejemplo considerado $V_A = 10V$ el cual es mayor a $V_B = 8V$ por lo que $D_3=1$.
- Durante el segundo pulso del contador cíclico D_2 es puesto en '1' y D_1, D_0 permanecen en '0', D_3 tendrá el valor de '1' o '0' dependiendo del paso anterior, para este caso $D_3 = 1$, por lo tanto V_B será igual a 12 V y este valor es comparado con V_A , de forma que si $V_A \geq V_B$ D_2 permanece en 1 en caso contrario $D_2 = 0$, para este caso $V_B \geq V_A$, por lo que $D_2 = 0$.

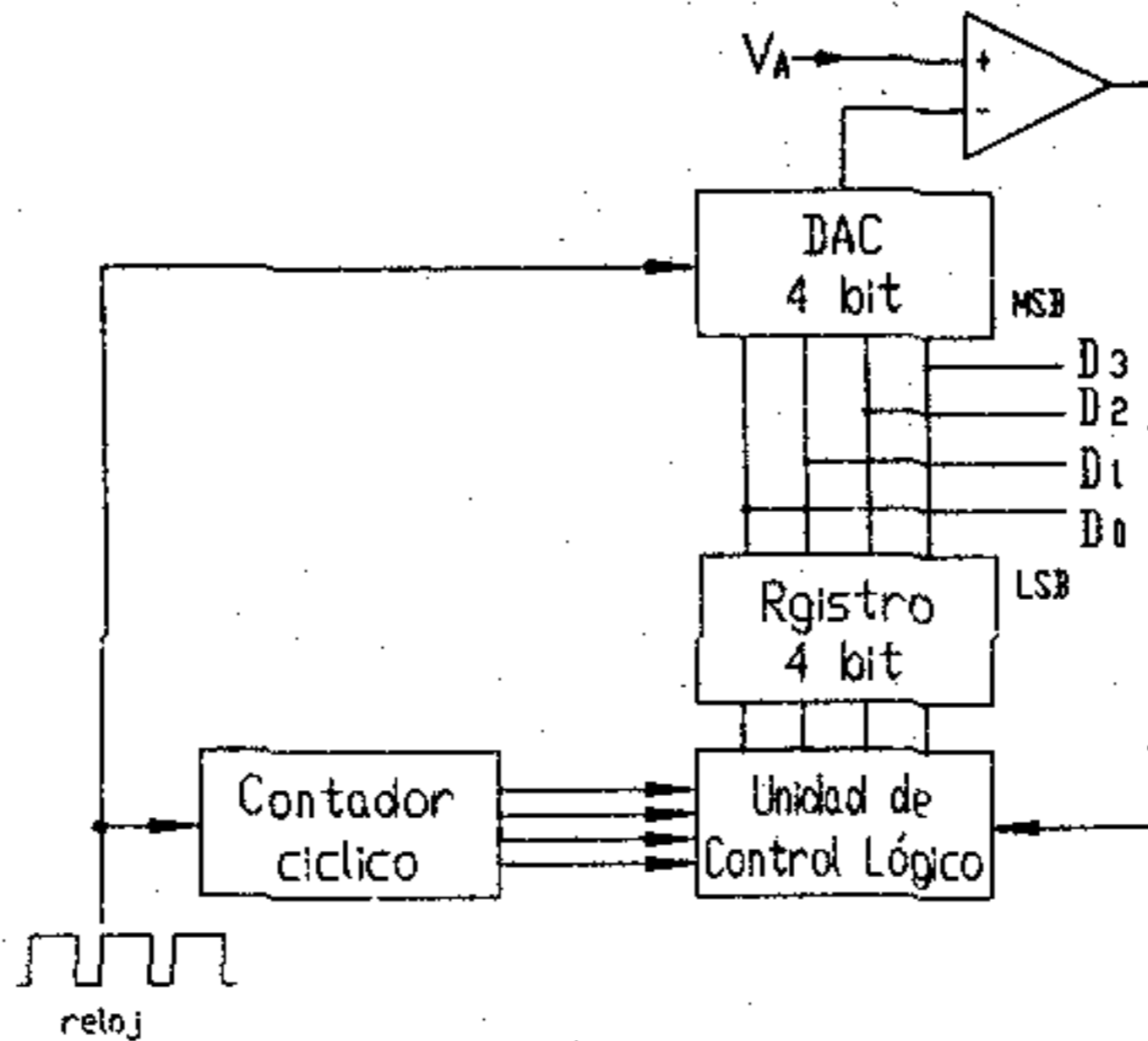


Figura 5

- Durante el tercer pulso del contador ciclico $D_1 = '1'$ y $D_0 = '0'$, D_3 y D_2 tienen el valor obtenido respectivamente durante los dos pasos anteriores, por lo tanto $V_B = 10\text{ V}$ y al ser comparado con V_A , D_1 permanece en '1'
- $D_0 = '1'$, y al comparar V_A con V_B , D_0 es puesto en cero, terminando el ciclo y obteniendo el valor de V_A en las salidas convertidor.

Este convertidor necesita un número de pulsos de reloj igual al número de bits que maneje, y para cualquier voltaje de entrada $V_A \leq 15\text{ V}$ se necesitarán solamente 4 pulsos de reloj.

Si se considera una frecuencia de reloj de 4 MHz, el tiempo de conversión sería $4 \times (1 / 4 \times 10^6) = 1\ \mu\text{s}$ para cualquier valor de $V_A \leq 15\text{ V}$; mientras que si se utiliza el método de conversión anterior, con una entrada $V_A = 13\text{ V}$ el tiempo de conversión sería $13 \times (1 / 4 \times 10^6) = 3.25\ \mu\text{s}$.

Multímetro Digital

El multímetro digital básicamente consta de dos secciones: una analógica y otra digital. La primera consiste principalmente de redes divisoras de voltaje, de corriente o una fuente de corriente, según se use como voltmetro, ampermetro u óhmetro y son utilizadas con el fin de que la señal de entrada tenga el nivel adecuado para poder realizar la conversión.

La sección digital consiste de un convertidor A/D y el despliegue para presentar el valor de la medición. El ADC requiere de un voltaje externo de referencia (V_{ref}), el cual determina el máximo valor de entrada al ADC, que es dos veces V_{ref} , esto es:

$$V_{max} = 2 V_{ref}$$

(8)

y el máximo V_{ref} que permite el convertidor es de 200 mV.

VOLTMETRO DIGITAL

La sección analógica del voltmetro digital corresponde a divisores de voltaje los cuales tienen la función de que no importando el voltaje que se aplique a su entrada, el voltaje máximo a la entrada del convertidor A/D siempre será un voltaje preestablecido, que en este caso es de 100 mV. La figura 6 muestra el circuito para una escala.

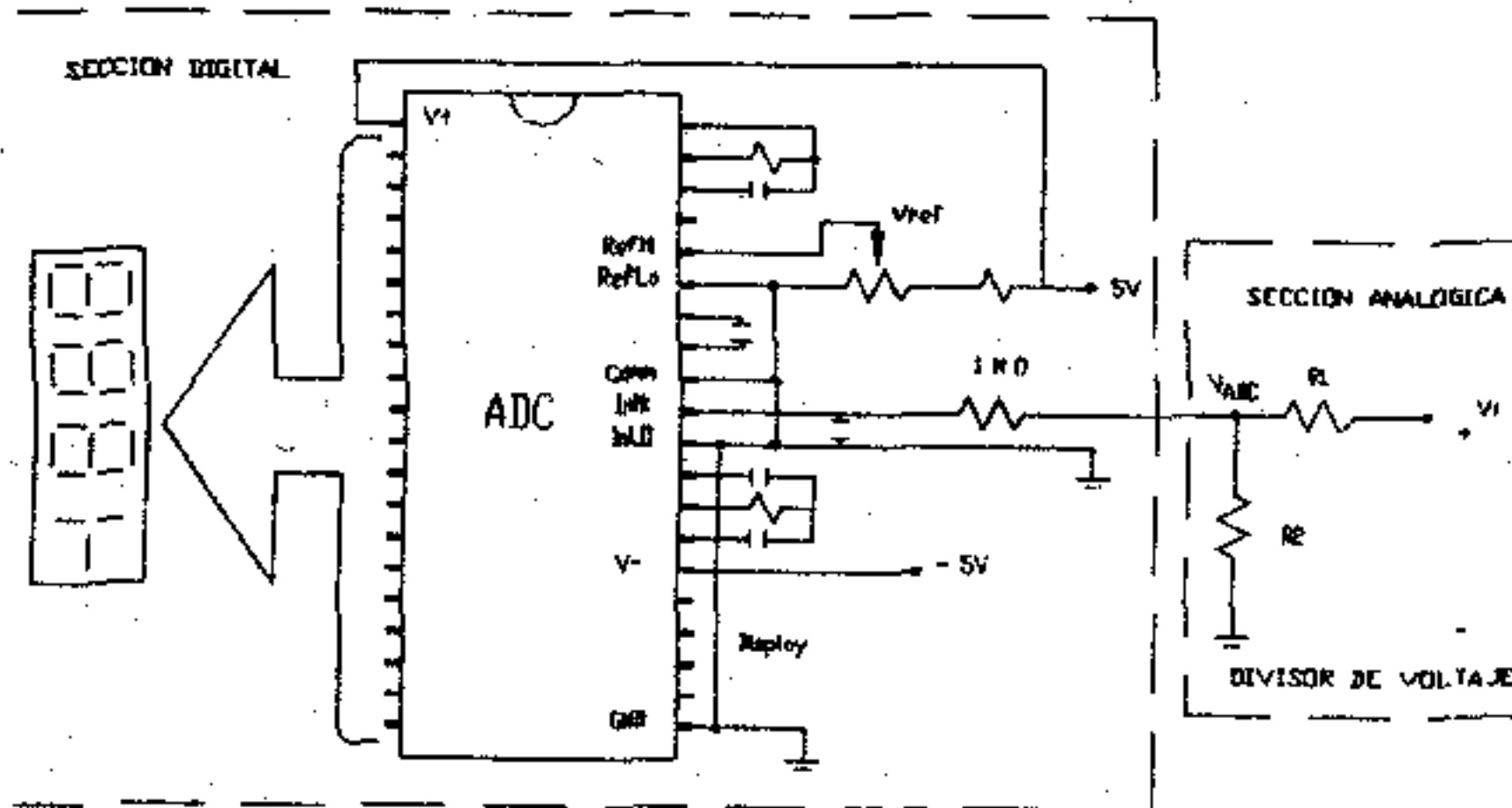


Figura 6

Los valores de R_1 y R_2 se determinan de acuerdo a la siguiente relación:

$$V_{ADC} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i \quad (9)$$

donde

V_{ADC} = Voltaje de entrada al ADC = 100 mV

V_i = Voltaje máximo de entrada al voltmetro digital, dependiendo de la escala

Puesto que el máximo voltaje de referencia para el ADC es de 200 mV, es recomendable seleccionar el valor medio, esto es, 100 mV, por lo que de acuerdo a la expresión (8), el voltaje máximo de entrada al ADC será de 200 mV, y las escalas se seleccionan en múltiplos de este valor, esto es:

0 - 200 mV, 0 - 2 V y 0 - 20 V

AMPERMETRO DIGITAL

La medición de corriente se realiza indirectamente, ya que lo que se mide realmente es el voltaje a través de una resistencia y la lectura es proporcional a la magnitud de corriente medida. La figura 7 muestra el circuito para una escala de corriente.

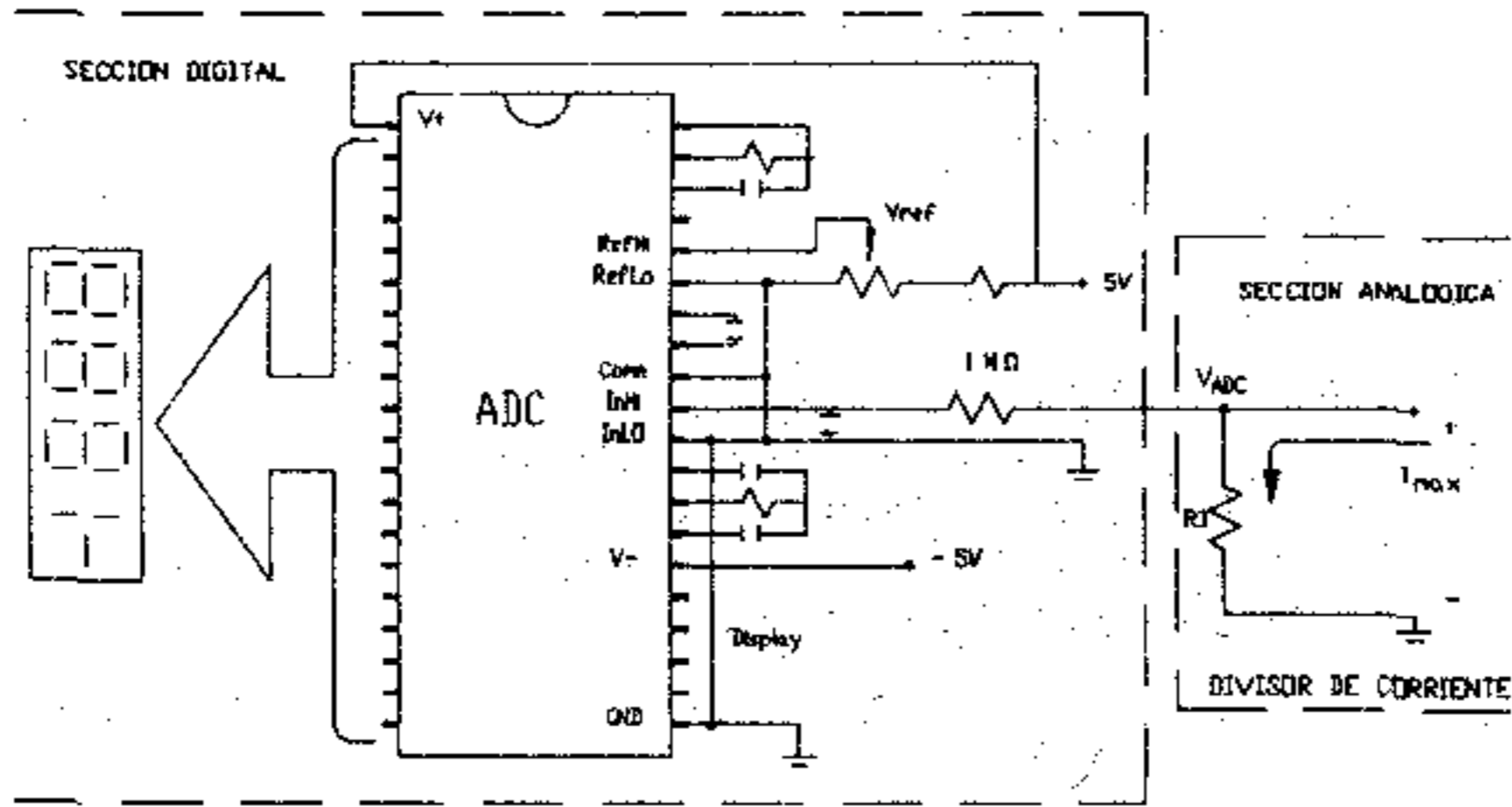


Figura 7.

Al igual que en el voltmetro digital, el voltaje máximo de entrada al ADC $V_{max} = V_{ADC}$ es de 200 mV y este valor debe ser proporcional al de corriente, por lo que la resistencia R_1 tendrá el valor determinado por V_{max} y la corriente máxima de la escala. Utilizando la ley de Ohm:

$$R_1 = \frac{V_{max}}{I_{max}} \quad (10)$$

Si $I_{max} = 200 \text{ mA}$, entonces $R_1 = 1 \Omega$ y la lectura (voltaje) corresponderá al de la corriente medida.

OHMETRO DIGITAL

Este instrumento requiere de una fuente de corriente de valor preciso, dicha corriente circula por la resistencia desconocida R_x , de forma que el voltaje a través de R_x será el medido y la lectura obtenida será proporcional al valor de R_x .

El circuito básico del óhmetro digital es el mostrado en la figura 8. El voltaje V_p se ajusta con el potenciómetro P_1 ; considerando que $V_n = V_p$ se tiene:

$$I_e = \frac{V_{cc} - V_n}{R_e} \quad (11)$$

Como $I_e = I_c$, el voltaje en la resistencia R_x será:

$$V_x = V_{ADC} = I_c R_x \quad (12)$$

Sustituyendo la ecuación (11) en (12), y evaluando para R_x se tiene:

$$R_x = \frac{V_x}{V_{cc} - V_n} R_e \quad (13)$$

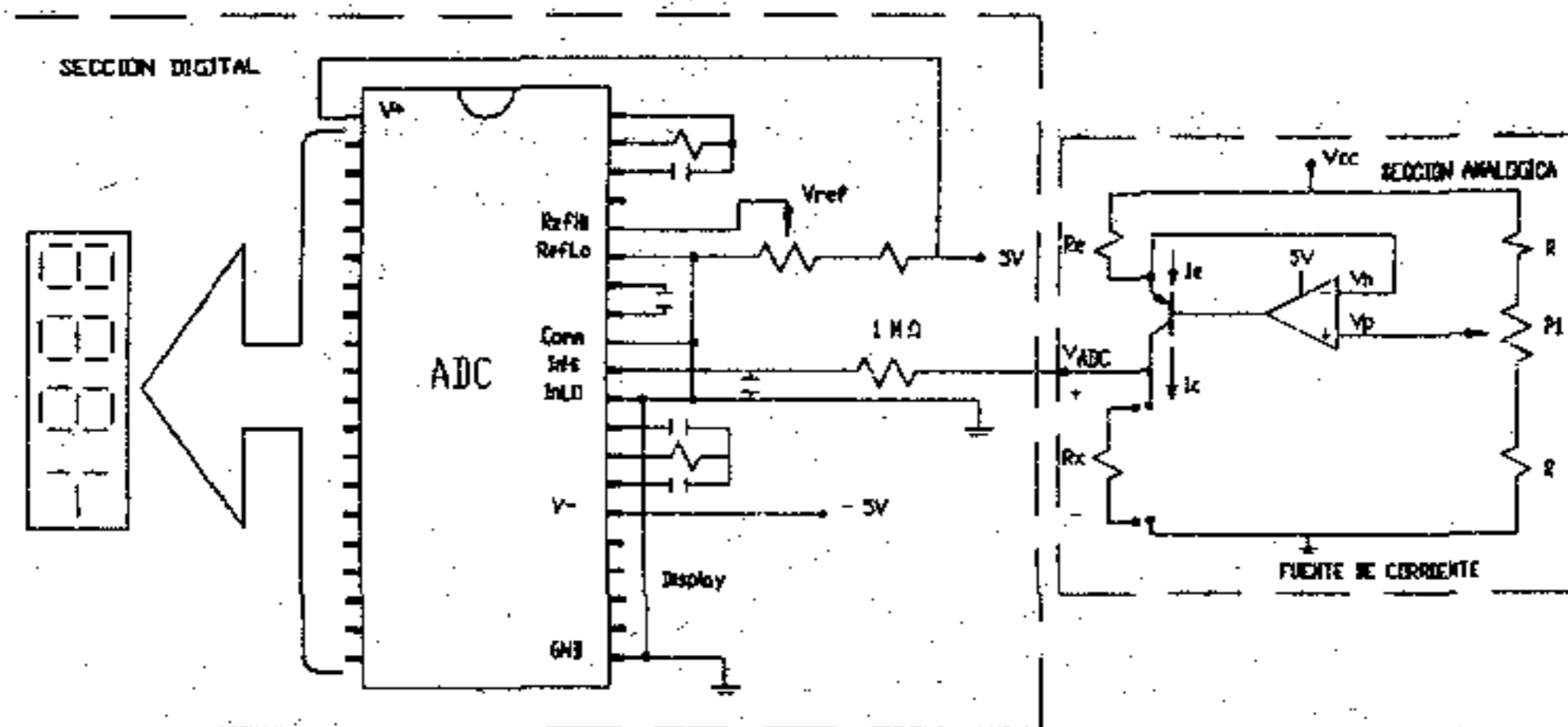


Figura 8

Si P_1 se ajusta de forma que $V_{cc} - V_n = 1\text{ V}$, entonces R_x es proporcional al valor de la resistencia de escala R_e :

$$R_x = V_x R_e \quad (14)$$

OBJETIVOS

- Dar al alumno los conocimientos básicos acerca de los convertidores A/D y D/A.
- Presentar las bases teóricas-prácticas para construir un voltmetro, un amperímetro y un óhmetro digital.
- Calibrar un multímetro digital didáctico y obtener la clase exactitud del mismo.

EQUIPO Y MATERIAL

- 1 Multímetro
- 1 Fuente de alimentación
- 1 Convertidor AD
- 1 Multímetro digital didáctico
- 2 Resistencias $100\ \Omega$
- 5 Resistencias de valor menor a $1\ \text{k}\Omega$
- 15 Resistencias $1\ \text{k}\Omega$
- 2 Resistencia de $10\ \text{k}\Omega$
- 1 Resistencia de $47\ \text{k}\Omega$
- 1 Potenciómetro $1\ \text{k}\Omega$ lineal
- 1 Potenciómetro de $20\ \text{k}\Omega$
- 1 CI LF357 o equivalente
- 1 Transistor 2N3905 o equivalente

DESARROLLO

EXPERIMENTO I IMPLEMENTAR UN CONVERTIDOR DIGITAL-ANALOGICO

a) Arme el circuito de la figura 9.

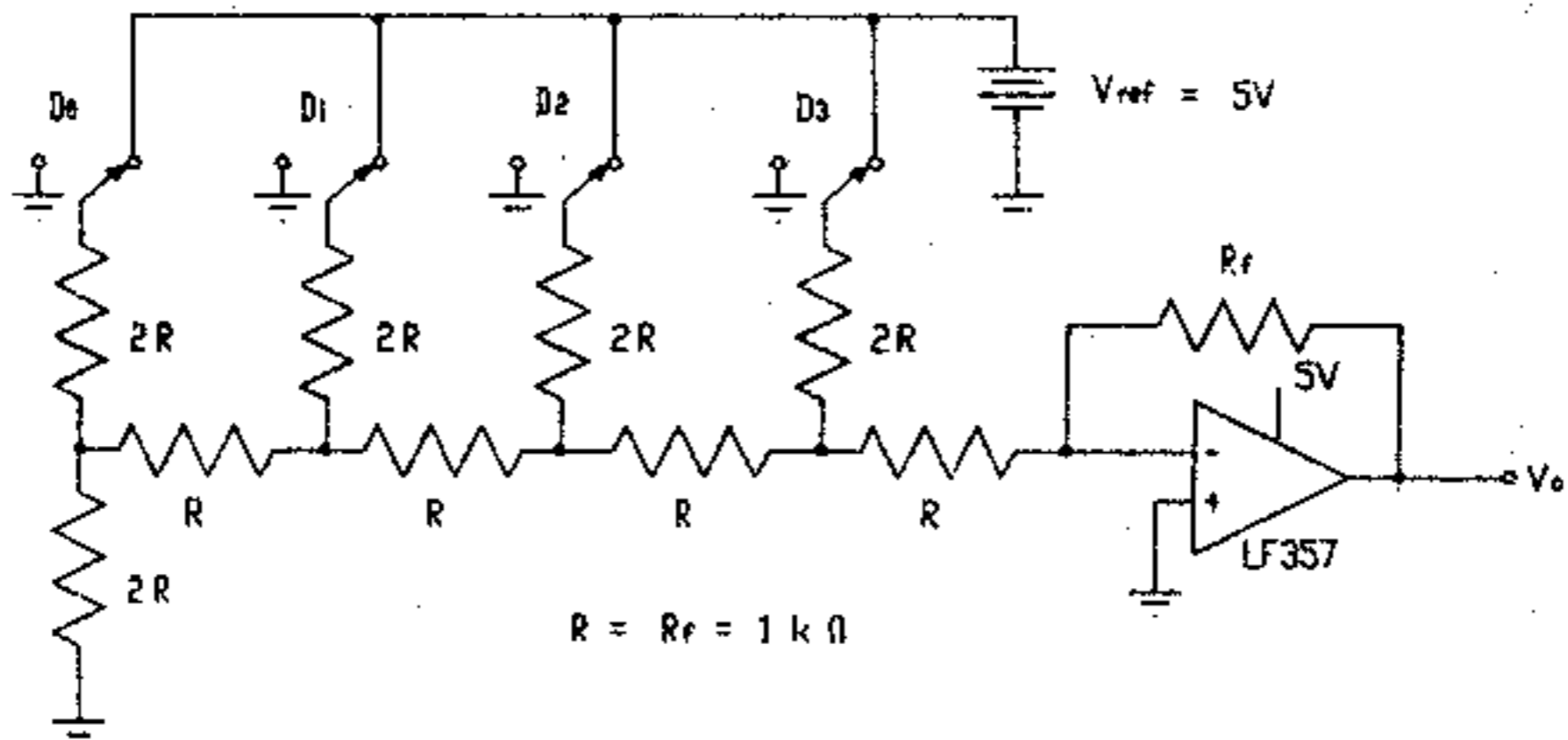


Figura 9

- Antes de conectar la polarización, verifique los voltajes de la fuente.
- Verifique para las diferentes entradas digitales, de 0000 a 1111 el correspondiente valor analógico y registre los datos en la tabla 1.

TABLA 1

ENTRADA DIGITAL	SALIDA DE VOLTAJE ANALG.

EXPERIMENTO II CONSTRUCCION DE UN VOLTMETRO DIGITAL

- a) En el ADC, verifique con un voltmetro que $V_{ref} = 100 \text{ mV}$, en caso contrario ajústelo con el potenciómetro P_{ref} .
- b) A partir del divisor de voltaje de la figura 10, si el voltaje máximo de escala es $V_1 = 2 \text{ V}$, calcule el valor de R_1 y R_2 , para que el voltaje de

entrada al ADC sea de $V_{ADC} = 200 \text{ mV}$.

c) Arme el circuito de la figura 10 y conecte a la entrada una fuente de voltaje.

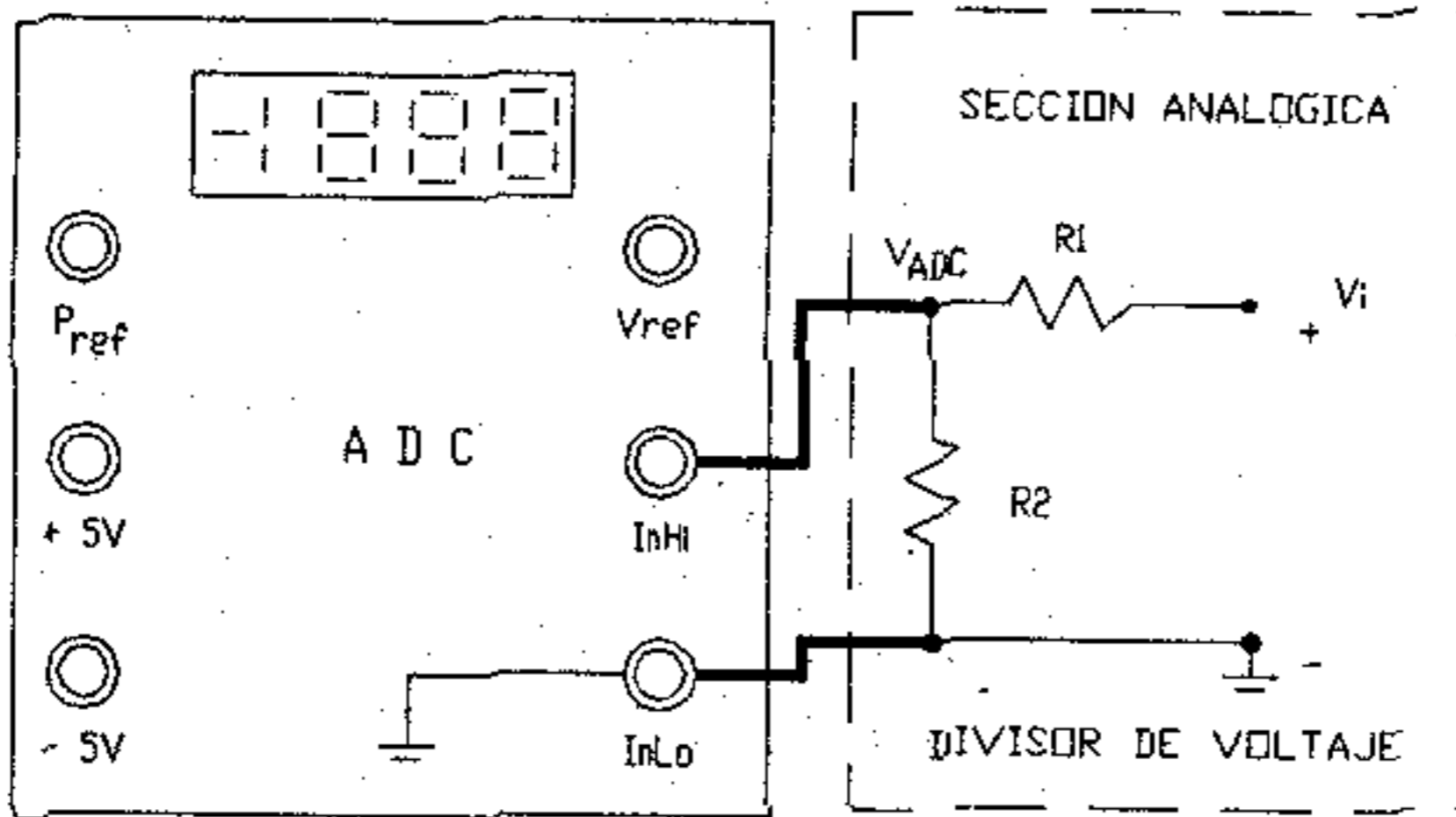


Figura 10

- Varie el voltaje de la fuente con los incrementos que se indican en la tabla 2 y registre los datos correspondientes.

TABLA 2

VOLTAJE FUENTE	VOLTAJE VOLTM. DIG.
0	
0.25	
0.50	
0.75	
1.00	
1.25	
1.50	
1.75	
2.00	

- Desconecte el divisor de voltaje.

d) Con el potenciómetro P_{ref} , varíe el voltaje V_{ref} a 150 mV . Si $V_{max} = 3 \text{ V}$, calcule el valor de R_1 y R_2 para que $V_{ADC} = 300 \text{ mV}$.

- Repita el inciso c) con incrementos de 0.5 V .

EXPERIMENTO III CONSTRUCCION DE UN AMPERMETRO DIGITAL

a) En el ADC, verifique con un voltmetro que $V_{ref} = 100 \text{ mV}$, en caso contrario

ajústelo con el potenciómetro Pref.

- b) En relación con la figura 11, si $I_{max} = 20 \text{ mA}$, determine el valor de R_1 a fin de que el voltaje de entrada al convertidor sea igual a $V_{ADC} = 200 \text{ mV}$.
- c) Arme el circuito de la figura 11.

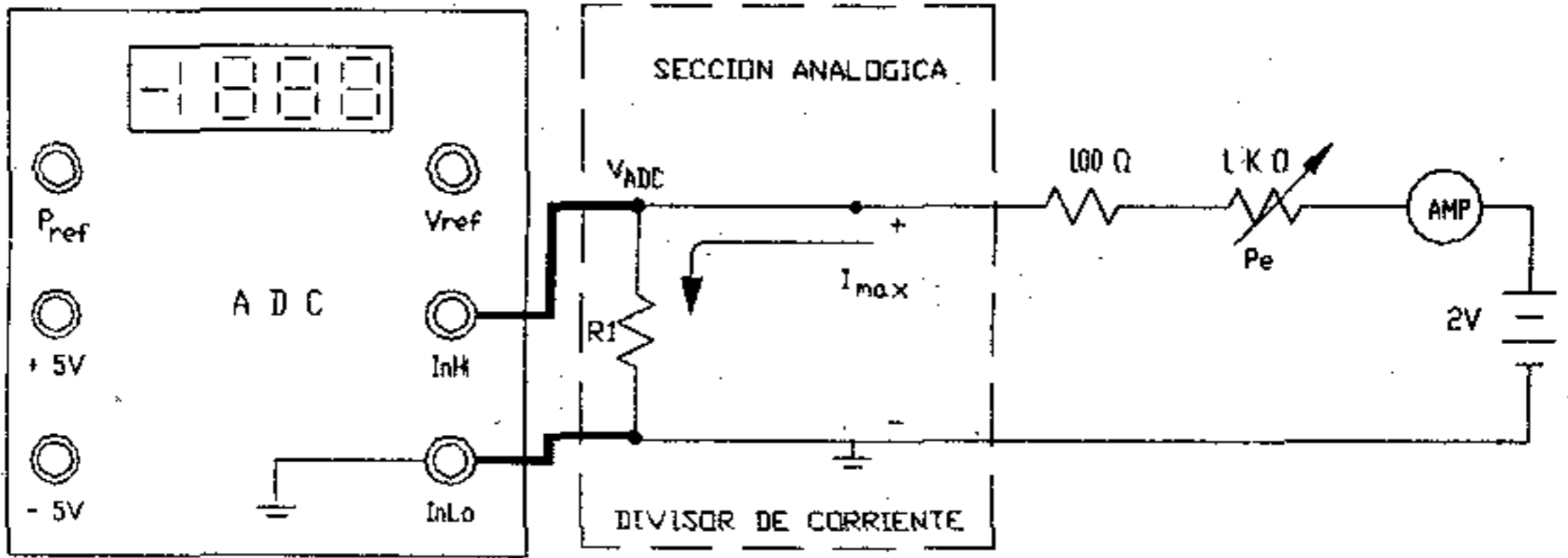


Figura 11

- Verie el potenciómetro P_e de acuerdo a los valores de corriente del ampérmetro patrón indicados en la tabla 3.

TABLA 3

CORRIENTE AMP. PATRÓN	CORRIENTE AMP. DIG.
2 mA	
4 mA	
6 mA	
8 mA	
10 mA	
13 mA	
16 mA	
18 mA	
20 mA	

EXPERIMENTO IV CONSTRUCCION DE UN OHMETRO DIGITAL

- a) En el ADC, verifique con un voltmetro que $V_{ref} = 100 \text{ mV}$, en caso contrario ajústelo con el potenciómetro Pref.
- b) En relación con el circuito de fuente de corriente de la figura 12, determine el valor de la resistencia de escala R_e a fin de que el óhmetro funcione en un rango de $0 - 2000 \Omega$.

c) Arme el circuito de la figura 12.

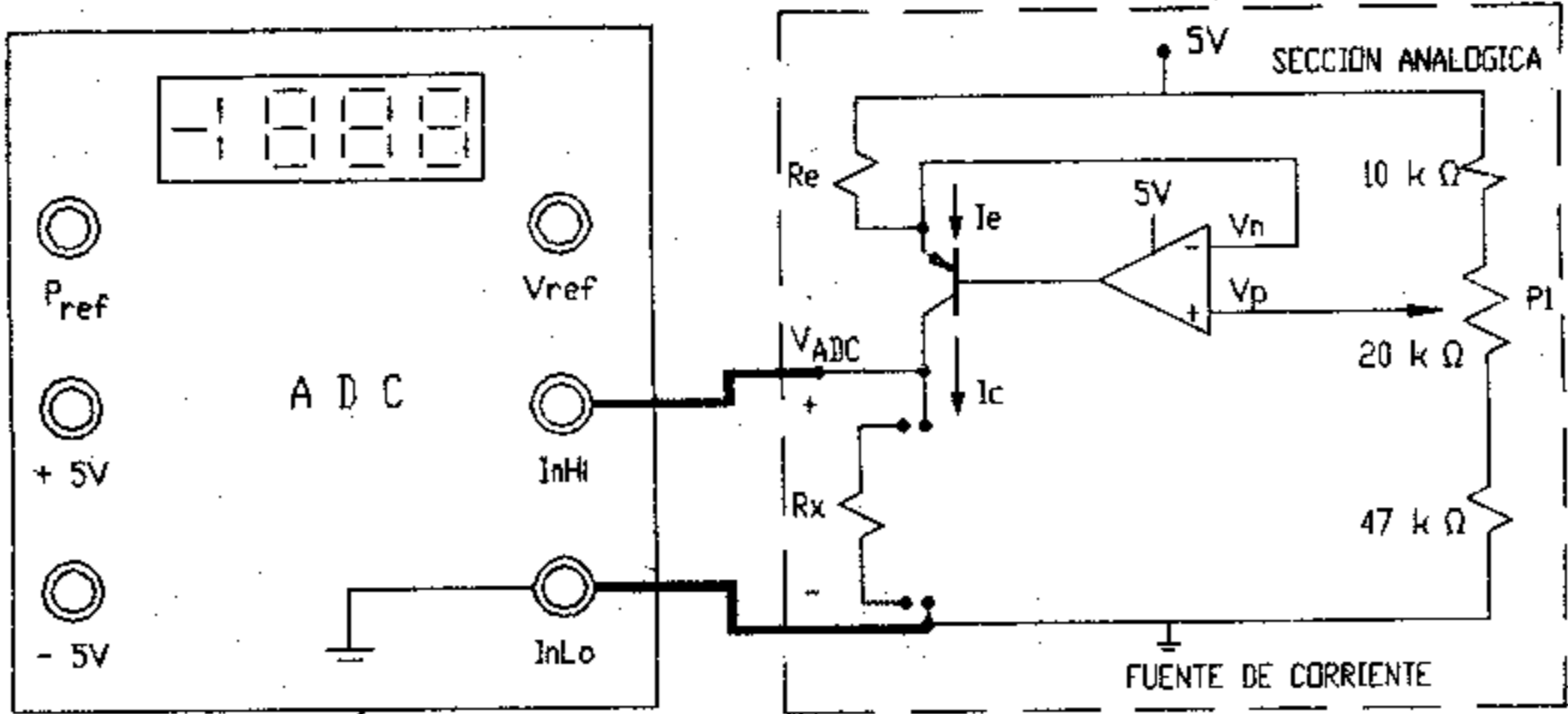


Figura 12

- Verifique y registre en la tabla 4, el valor de diferentes resistencias dentro del rango especificado.

TABLA 4

RESISTENCIA TEORICA	RESISTENCIA OHM. DIG.

EXPERIMENTO V CALIBRACION DEL MULTIMETRO DIGITAL

a) Con el multímetro digital didáctico verifique la operación del voltmetro, ampermetro y óhmetro en las diferentes escalas. Registre los datos en forma similar a los de las tablas 2, 3 y 4.

ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- Con base a los datos de la tabla 1, determine el error en cada medición y si éste existe, explique las posibles causas.
- 2.- ¿Cuál es la resolución del DAC ?
- 3.- ¿Cuál es el error de escala completa del DAC ?
- 4.- ¿Cuál es el valor de R_1 y R_2 del divisor de voltaje del voltmetro para la escala de 0 - 2 V ?
- 5.- Con base a los datos de la tabla 2, grafique la curva de calibración y determine el error en cada caso.
- 6.- Determine la clase exactitud del voltmetro.
- 7.- ¿Cuál es la impedancia que presenta el voltmetro ?
- 8.- ¿Cuál es la función del voltaje de referencia V_{ref} ?
- 9.- Repita el punto 4 con los datos del experimento II d) y compare resultados.
- 10.- ¿Cuál es el valor de R_1 para el ampermetro con escala de 0 - 20 mA ?
- 11.- ¿Qué valores de resistencia R_1 se requieren para escalas mayores de corriente ?
- 12.- Con base a los datos de la tabla 3, grafique la curva de calibración y determine el error en cada caso.
- 13.- Determine la clase exactitud del ampermetro.
- 14.- ¿Cuál es el valor de la resistencia de escala R_e para que el óhmetro trabaje en el rango de 0 - 2000 Ω ?
- 15.- Con base a los datos de la tabla 4, grafique la curva de calibración y determine el error correspondiente.
- 16.- Con base a los datos del experimento V a), grafique las curvas de calibración en cada caso.
- 17.- Determine la clase exactitud del multímetro.
- 18.- Dibuje el circuito completo del multímetro con varias escalas.