

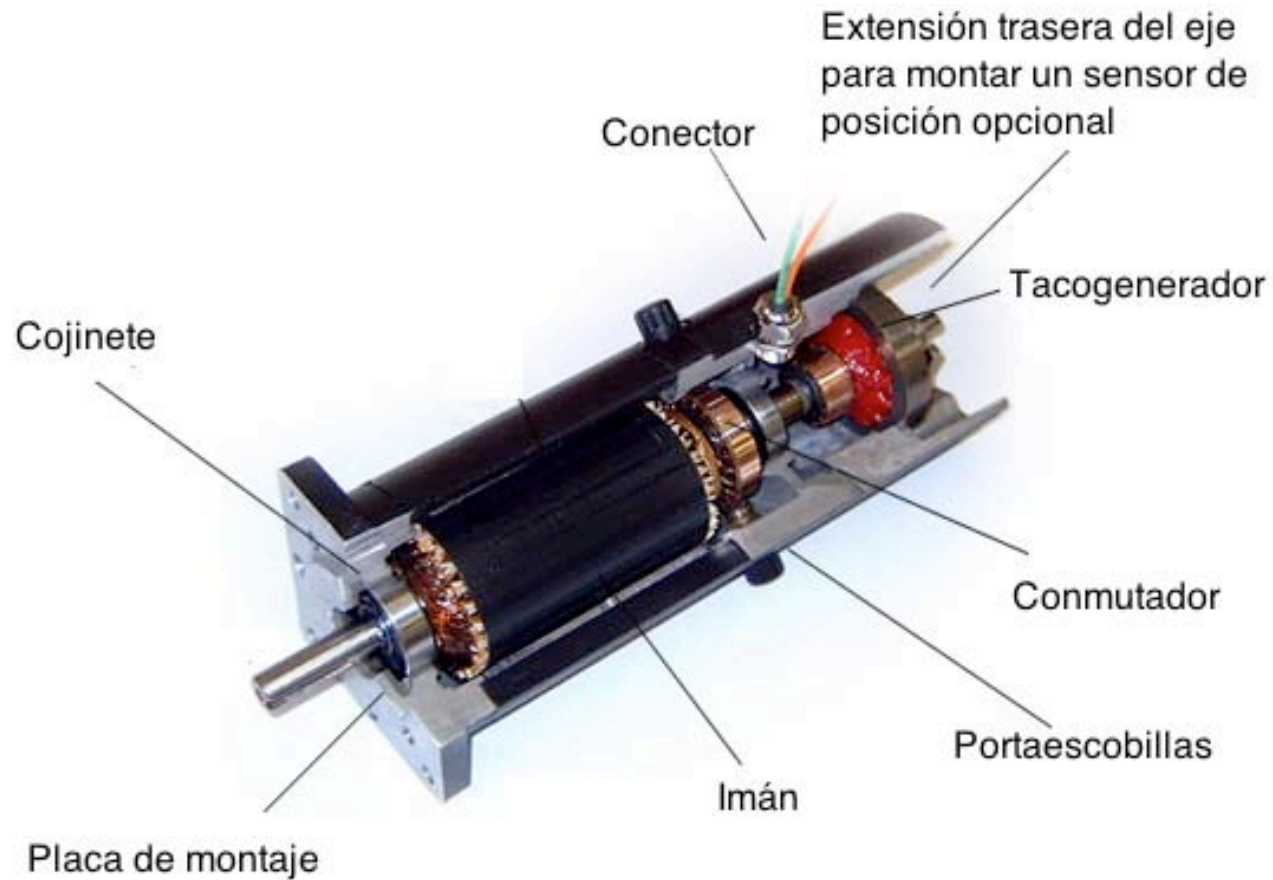
## Medición de la velocidad angular.

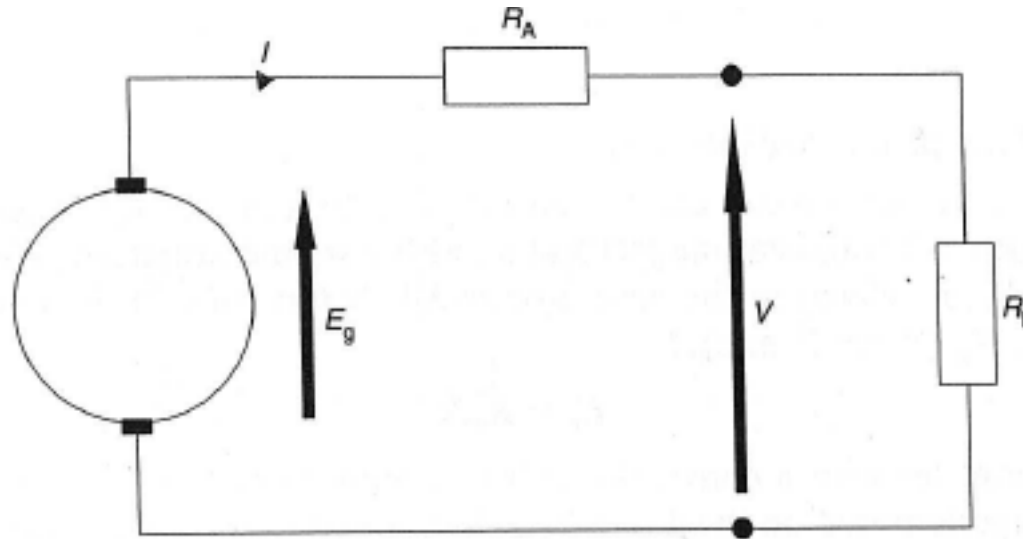
### I.- Analógica:

1.- Tacogenerador con escobillas: Es una pequeña máquina DC de imán permanente que se conecta mecánicamente al eje cuya velocidad se desea medir y opera como generador que produce una señal de voltaje analógica cuyo módulo es proporcional a la velocidad de su eje y cuyo signo indica el sentido de giro.

La señal del tacogenerador es directamente aplicable en un circuito controlador analógico, y debe ser digitalizada para usarse en uno digital; la señal del tacogenerador es de una tensión relativamente elevada (varias decenas de voltios) para hacerla mas inmune al ruido.

Existen servomotores que integran un tacogenerador con escobillas conectado directamente sobre el eje y encapsulado en la misma carcasa.





Circuito equivalente de un tacogenerador con escobillas.

La tensión generada por el tacogenerador,  $E_g$ , es:

$$E_g = k_g \omega$$

Donde  $K_g$  es la constante de generación (V/radianes segundo).

La tensión de salida es:

$$V = E_g \frac{R_L}{R_L + R_A}$$

Para evitar que el efecto de carga introduzca un error de medición es necesario que  $R_L$  sea lo mas grande posible, pero por otro lado es necesario que la corriente de armadura sea suficiente para asegurar que no existan problemas de operación en las escobillas.

Adicionalmente la tensión  $E_g$  presenta un rizado debido al efecto de las conmutaciones de escobilla a escobilla, con un valor típico del orden del 5 al 6% del valor de salida.

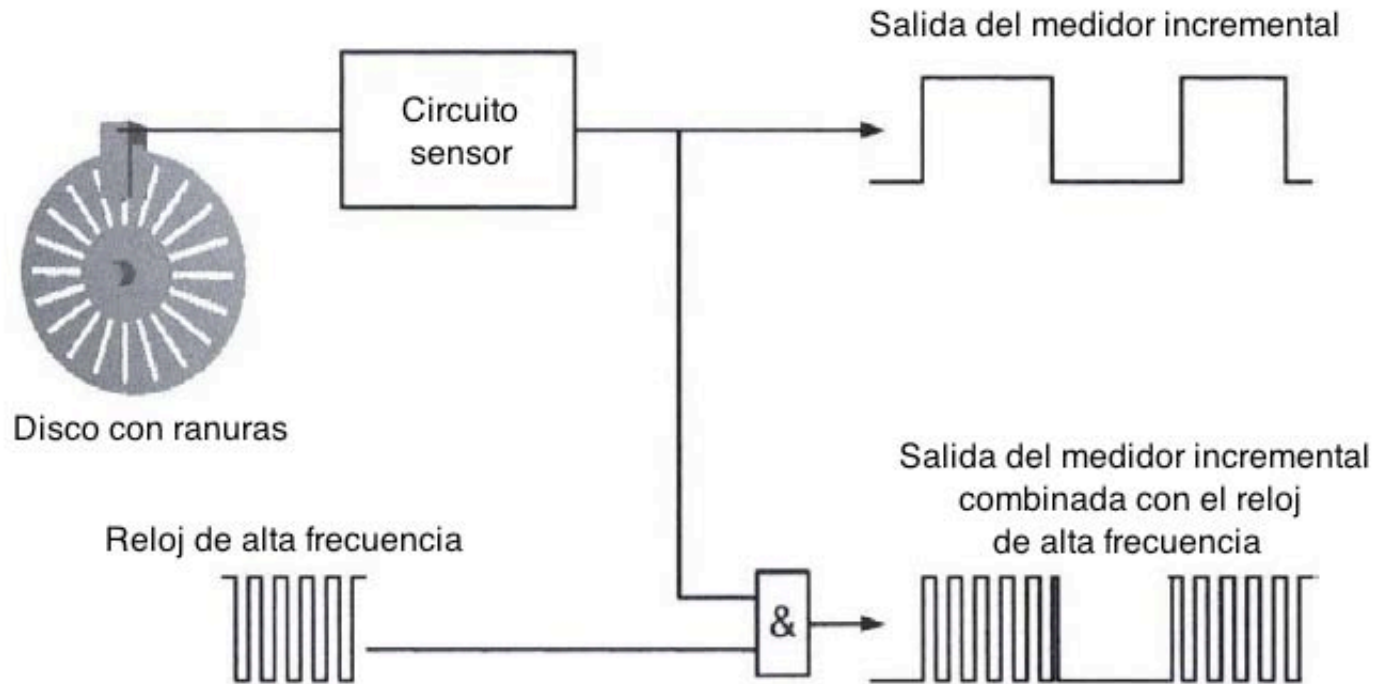
2.- Tacogenerador sin escobillas: Es un motor BLDC de baja potencia operado como generador; al no tener escobillas no está limitado en velocidad, y se ha demostrado que puede llegar a 100.000 r.p.m.; adicionalmente, no requiere mantenimiento porque su única parte móvil es el rotor.

Si el tacogenerador sin escobillas está integrado en el motor BLDC, puede usar el mismo sistema de sensores de posición, lo que reduce tamaño y costo.

En ambos casos el método tiene un límite inferior en el rango de velocidad, cuando el nivel de tensión generado queda enmascarado por el ruido del sistema.

## II.- Digital:

### 1.- Medición incremental.



Esquema básico de un medidor incremental de velocidad angular.

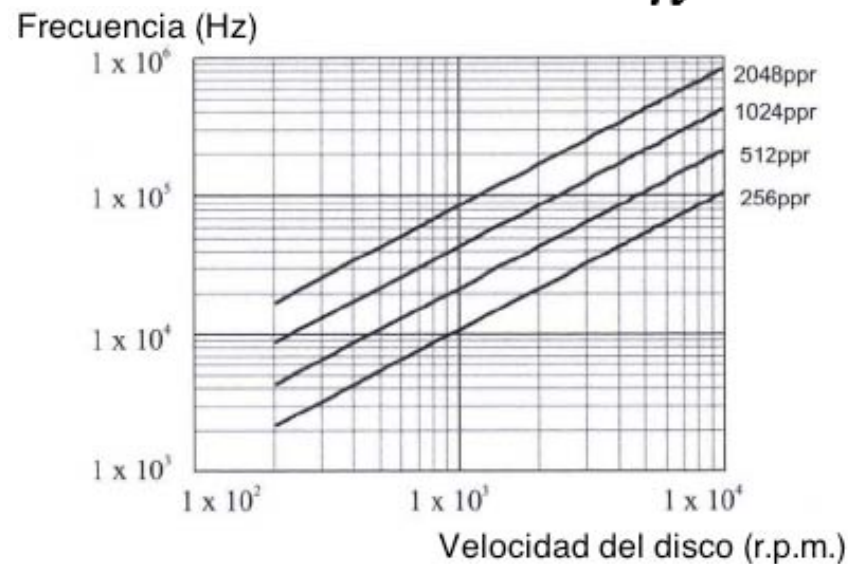
Arriba: medición directa por conteo de pulsos del sensor

abajo: medición por conteo de pulsos del reloj auxiliar.



Al girar el disco interrumpe intermitentemente el camino luminoso entre el emisor y el sensor, generando un tren de pulsos. Si existen  $n$  ranuras o zonas reflectoras en el disco, la frecuencia de salida del tren de pulsos básico,  $f_p$ , será:

$$f_n = n\omega \Rightarrow \omega = \frac{f_n}{n}$$





La frecuencia generada se mide de dos maneras:

a.- Directamente, contando el número de pulsos que llegan en un tiempo de cálculo pre-definido.

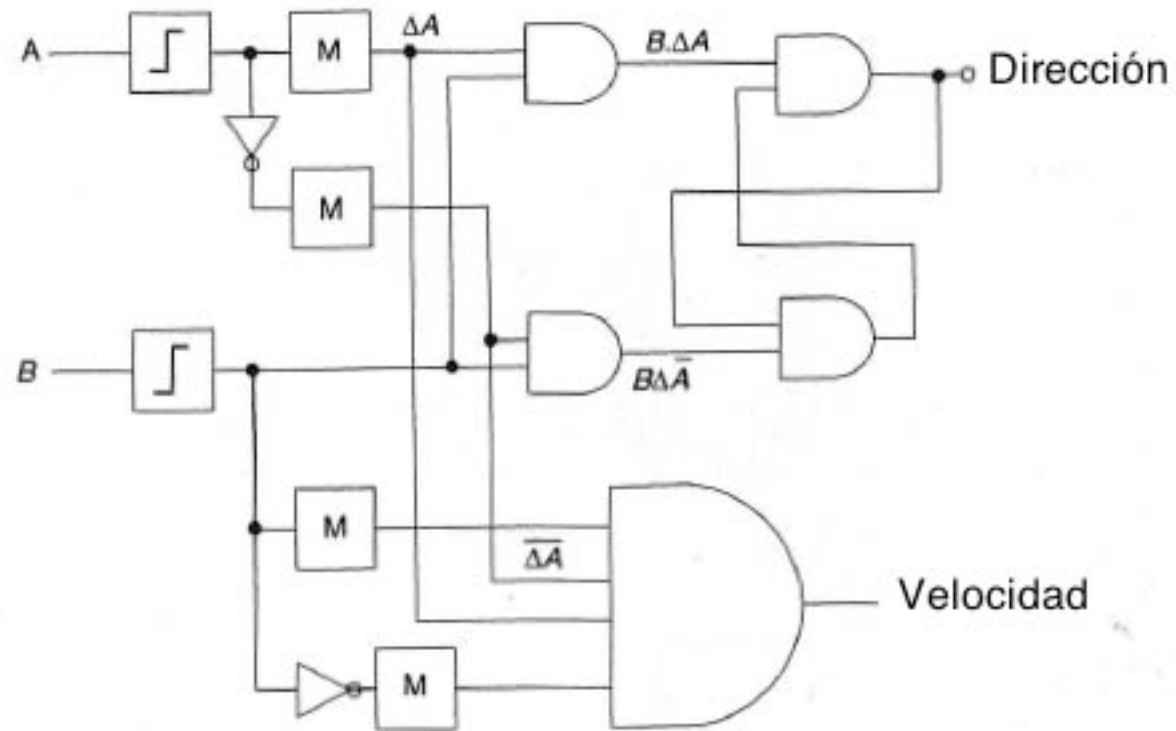
b.- En forma indirecta, combinando el tren de pulsos generado por el sensor con la señal de un reloj de alta frecuencia, y contando el número de pulsos de reloj que llegan en un pulso del sensor.

Para ambientes agresivos (polvo, grasa, alta temperatura) el disco puede reemplazarse con una rueda dentada (puede ser un engranaje del sistema de acople de velocidades), y el sensor óptico por un sensor magnético que producirá un pulso cada vez que un diente pase por su posición. Cambia el circuito de ajuste de la señal, pero el principio de medición es el mismo.



La velocidad se mide con uno de los dos métodos indicados en la configuración básica, y la dirección de giro se determina en base a cual es la secuencia de llegada de los pulsos. Si A llega antes que B en este ejemplo el disco gira en sentido horario, en caso contrario gira en sentido anti-horario.

El tercer canal mostrado en la figura da un pulso por vuelta, que se puede usar como referencia para iniciar/parar el ciclo de medición de velocidad.



Circuito generador de las señales de dirección y velocidad (M=monoestables).

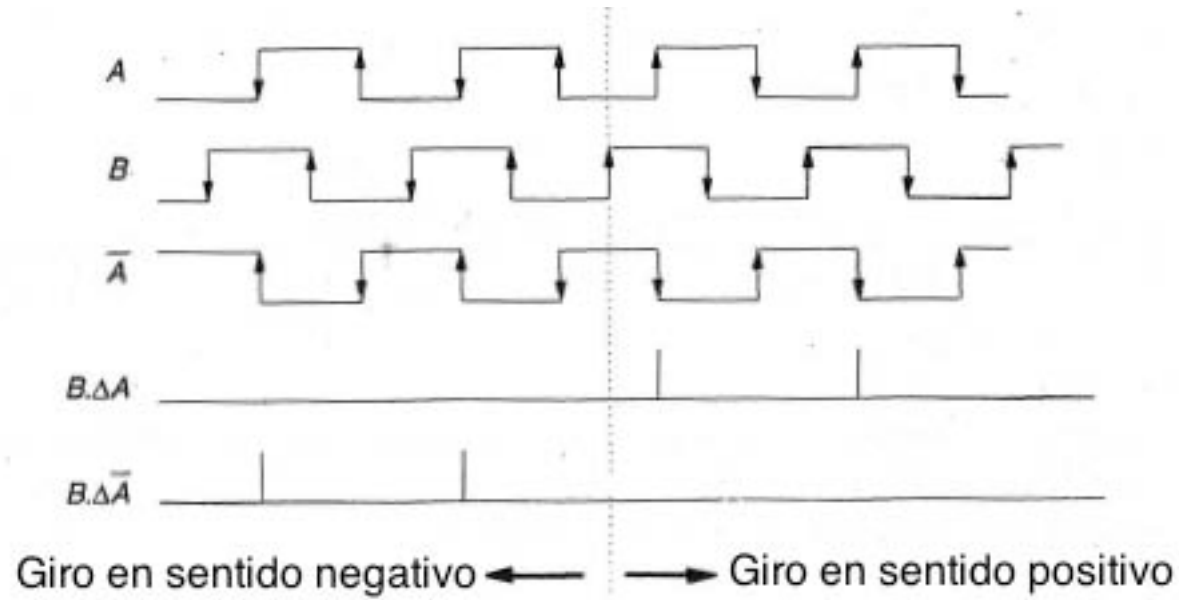


Diagrama de tiempo de la generación de las señales de velocidad y dirección.

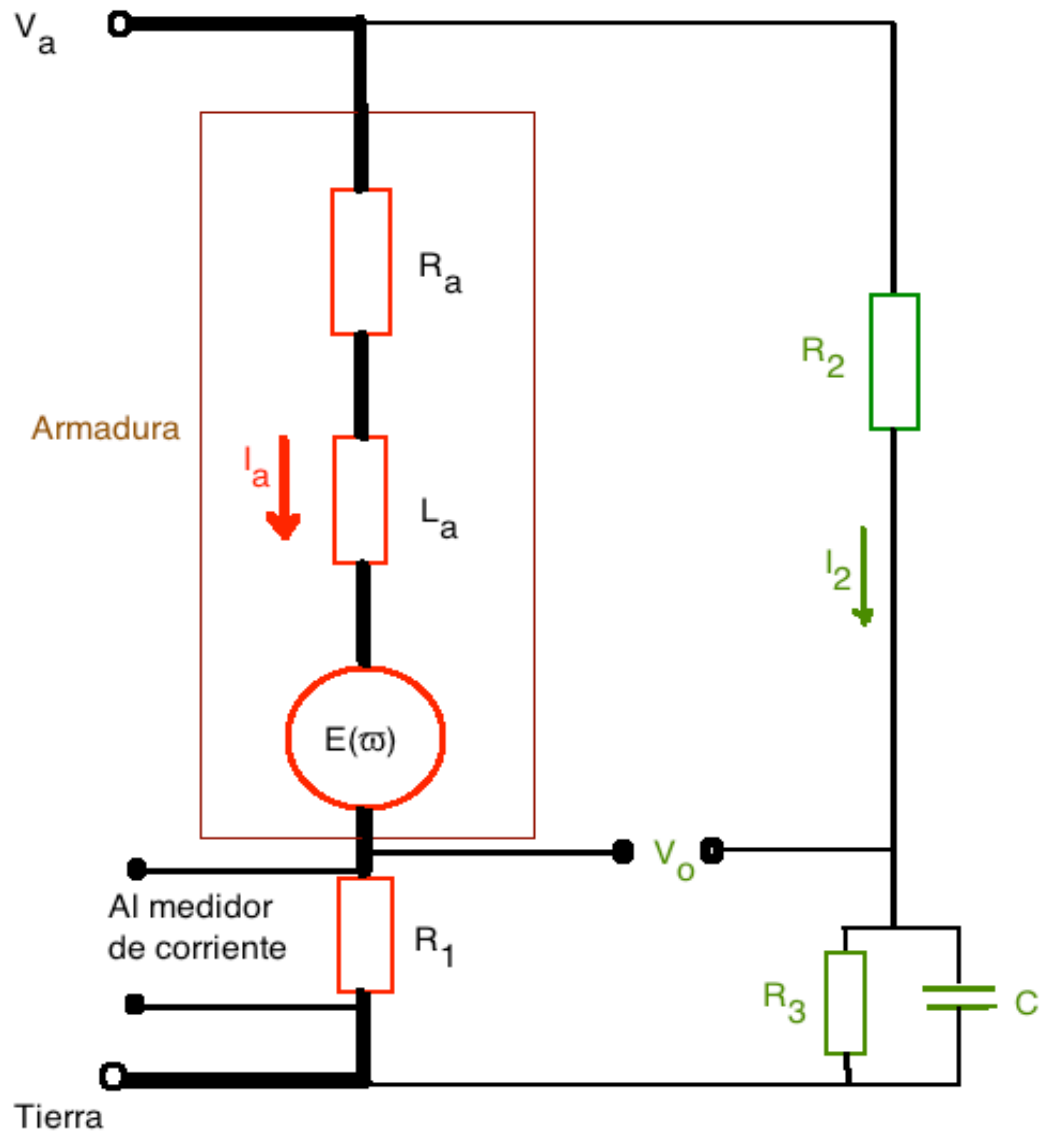
La medición de la velocidad en base al conteo de pulsos también tiene problemas a baja velocidad, en este caso porque el número de pulsos generado por unidad de tiempo es cada vez mas bajo, lo que obliga a usar una ventana de medición cada vez mas larga.

Esto se puede remediar parcialmente aumentando el número de ranuras (o de dientes) en el disco, y usando el método indirecto, pero siempre existe una zona de baja velocidad donde la información obtenida por este método es insegura: si el conteo promedio es del orden de los miles de pulsos, contar un pulso de mas o de menos por la no sincronización entre el tren de pulsos a contar y el cierre de la ventana de medición produce un error del orden de milésimas; si el conteo es del orden de centenares de pulsos, el error causado por la pérdida de un pulso es del orden de décimas, pero si se cuenta del orden de 10 pulsos, el error pasa a ser del 1/10.

## Medición indirecta de la velocidad (medición "sin sensor") en motores DC.

La velocidad se calcula en base a la tensión contra electromotriz,  $E(\omega)$ , generada en la máquina DC por medio de un circuito auxiliar que, en conjunto con el circuito de la máquina forma un puente de

Wheatstone, como se muestra en la figura, donde los componentes marcados en rojo son los que deben soportar la corriente de armadura y los marcados en verde pueden trabajar con un nivel de corriente mucho menor para evitar pérdidas.





Circuito puente para medir la velocidad angular en función de  $E(\omega)$ :

$$\text{Balance DC: } \frac{R_a}{R_1} = \frac{R_2}{R_3}$$

$$\text{Balance AC: } \frac{L_a}{R_1} = CR_3$$

Una vez balanceado el puente en AC y DC:

$$V_o = \frac{E(\omega)}{1 + \frac{R_2}{R_3}}$$

$$E(\omega) = V_o \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right) \Rightarrow \omega = \frac{V_o}{k_\phi} \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right)$$

Y, además, se debe diseñar para que se cumpla:

$$I_2 = \frac{V_a}{R_2 + R_3} \ll I_a$$

La resistencia R1 debe ser capaz de soportar la corriente máxima de armadura en las condiciones señaladas para la resistencia de medición de corriente en el método resistivo. Si se usa el método resistivo R<sub>1</sub> será la misma resistencia de medición de corriente, por lo que el método indirecto de medición de velocidad se puede implementar con un costo sumamente bajo como un respaldo en caso de falla del canal principal.