

Medidor de Coriolis

La medición de caudal por el efecto Coriolis, también conocido como medición directa o dinámica, da una señal directamente proporcional al caudal másico y casi independiente de las propiedades del producto como conductividad, presión, viscosidad o temperatura.

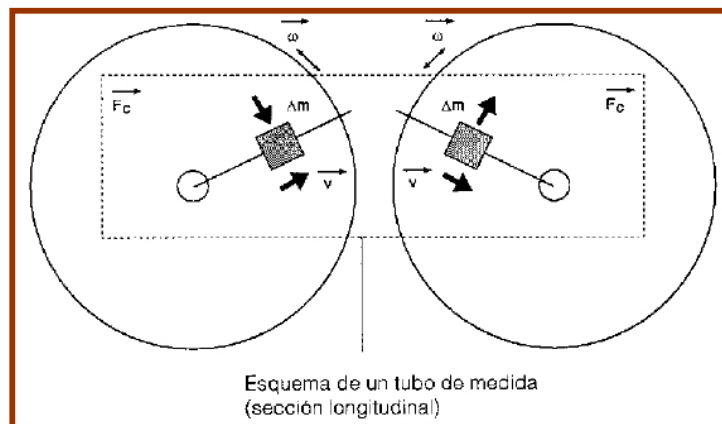
La fuerza Coriolis aparece siempre y cuando se trata de una superposición de movimientos rectos con movimientos giratorios. Para el uso industrial de su principio se sustituye el movimiento giratorio por una oscilación mecánica. Dos tubos de medición por donde pasa el producto oscilan en su frecuencia de resonancia.

El caudal másico provoca un cambio en la fase de la oscilación entre la entrada y la salida del equipo. Este desfase es proporcional al caudal másico y crea después de una amplificación correspondiente la señal de salida. Las frecuencias de resonancia de los tubos de medición depende de la masa oscilante en los tubos y por lo tanto de la densidad del producto. Luego, la fuerza de Coriolis está determinada por la siguiente fórmula:

$$F_c = 2 * \Delta m (\omega * v)$$

F_c = Fuerza de Coriolis
 Δm = Masa en Movimiento
 ω = Velocidad angular
 v = Velocidad radial en un sistema rotatorio u oscilante

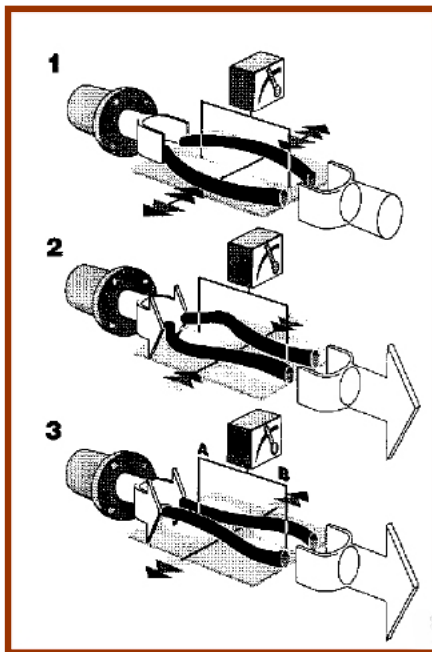
La amplitud de la fuerza Coriolis depende de la masa en movimiento Δm , su velocidad en el sistema v , y por tanto su caudal másico.



Fuerzas Coriolis en los tubos de un medidor

En un medidor se utiliza la oscilación en lugar de una velocidad angular constante y los dos tubos de medida paralelos con fluido en su interior se hacen oscilar desfasadamente de modo que actúan como una horquilla vibrante.

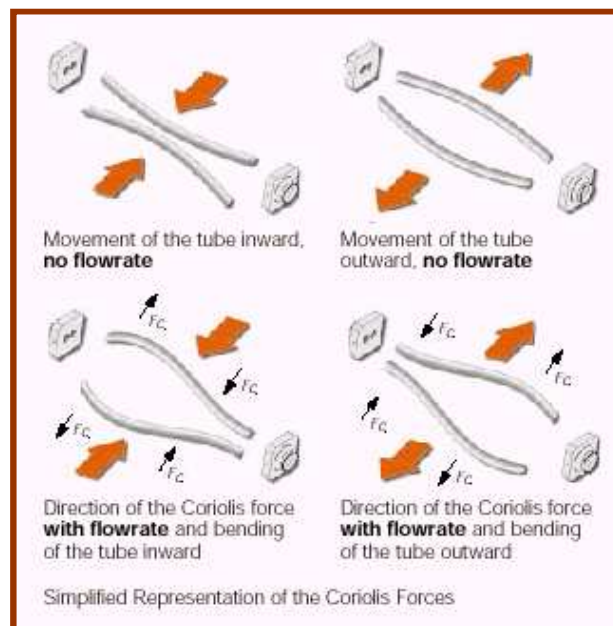
Las fuerzas Coriolis producidas en los tubos de medidas, causan un desfase en la oscilación del tubo. (ver figura)

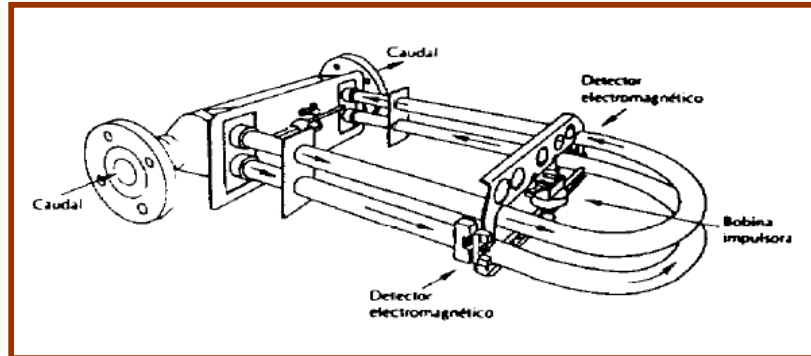


- Cuando el caudal es cero, ej, si el fluido está quieto, ambos tubos oscilan en una fase (1)
- Con caudal másico, las oscilación del tubo disminuye en la entrada (2) y aumenta en la salida (3)

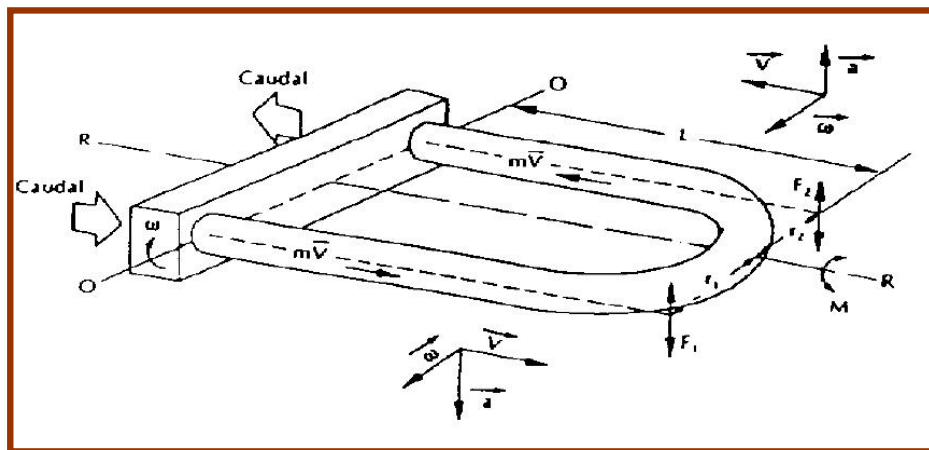
Si el caudal másico aumenta, la diferencia de fase también aumenta (A-B). las oscilaciones de los tubos de medida se determinan utilizando sensores electrodinámicos en la entrada y en la salida.

Sistema de dos tubos





Tubos sensores mostrando posición de los detectores y la bobina impulsora



Tubo sensor con los ejes de rotación

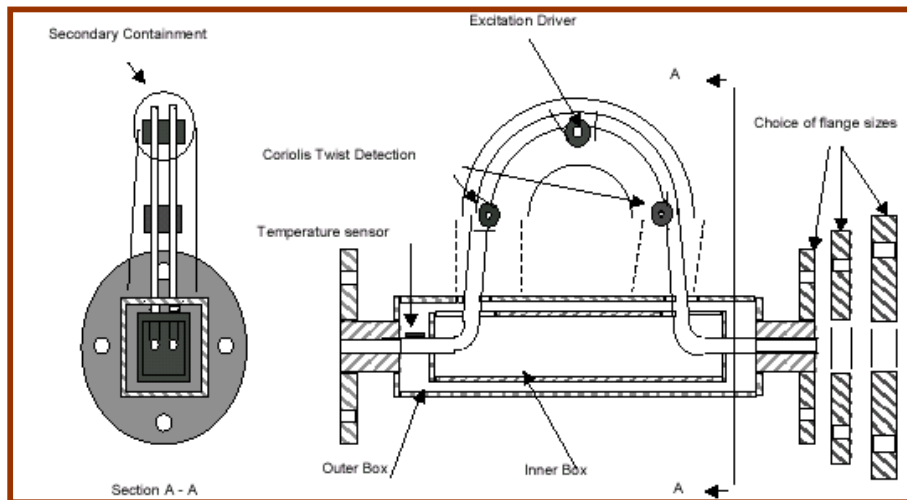
Teóricamente, este tipo de medidor funciona de la siguiente manera:

- Una bobina impulsora hace vibrar los (dos) tubos, sometiénolos a un movimiento oscilatorio de rotación alrededor del eje O-O'. Viben a la frecuencia de resonancia (menos energía), 600-2000 Hz.
- Los 2 detectores electromagnéticos inducen corrientes eléctricas de forma senoidal, que están en fase si no circula fluido.

El flujo atraviesa (dos) tubos en forma de U, estando sometido a una velocidad lineal " V " y una velocidad angular " ω " de rotación alrededor de O-O', por lo que sufre una aceleración de Coriolis de valor $a = 2\omega \times V$

La fuerza ejercida sobre el fluido como consecuencia de la aceleración cambia de signo con " V ", por lo que se genera un par de fuerzas que produce una torsión de los tubos alrededor del eje R-R'.

La torsión alrededor del eje R-R' produce un desfase de tiempo t , entre las corrientes inducidas por los detectores electromagnéticos, que es proporcional al par de fuerzas ejercido sobre los tubos, y por tanto a la masa que circula por ellos.



Vista interior de un Medidor de Coriolis



Medidor de Coriolis

4.2.2.3 Medidor de Coriolis

El *medidor de Coriolis* se basa en el teorema de Coriolis, matemático francés (1795-1843) que observó que un objeto de masa m que se desplaza con una velocidad lineal V a través de una superficie giratoria que gira con velocidad angular constante ω , experimenta una velocidad tangencial (velocidad angular \times radio de giro) tanto mayor cuanto mayor es su alejamiento del centro. Si el móvil se desplaza del centro hacia la periferia experimentará un aumento gradual de su velocidad tangencial, lo cual indica que se le está aplicando una aceleración y, por lo tanto, una fuerza sobre la masa del

objeto. Como el radio de giro va aumentando gradualmente, la velocidad tangencial también varía, con lo que se concluye que una variación de velocidad comporta una aceleración, la que a su vez es debida a una fuerza que actúa sobre la bola. Estas son, respectivamente, la aceleración y la fuerza de Coriolis. Por ejemplo, situando una bola de acero en un disco giratorio lleno de grasa en su parte superior, y haciéndolo girar, la bola describe una línea curva hasta salir del disco. Durante su recorrido, tiene una velocidad tangencial igual a la velocidad angular del disco multiplicada por la distancia al centro de giro. Este fenómeno es el causante de que el remolino que se forma en el fondo de un depósito al vaciarlo, gira a derechas en el hemisferio Norte y a izquierdas en el hemisferio Sur. Asimismo todos los vientos de la circulación general que soplan desde el Norte al Sur en el hemisferio Norte son desviados, debido a la rotación de la Tierra de Oeste a Este, gracias a la fuerza de Coriolis sobre las masas de aire de los cinturones de presión, constituyendo en el cinturón 30oN-60oN, los vientos predominantes del Oeste y en el cinturón OON - 30oN, los vientos alisios. Por otro lado, el célebre péndulo de Foucault demuestra también el fenómeno.

La generación de la fuerza de Coriolis puede producirse básicamente de dos formas:

a) Por inversión de las velocidades lineales del fluido mediante la desviación de un bucle en forma de omega (O) en estado de vibración controlada (a la frecuencia de resonancia para reducir la energía requerida). En la figura 4.54 *a* puede verse el medidor.

La vibración del tubo, perpendicular al sentido de desplazamiento del fluido, crea una fuerza de aceleración en la tubería de entrada del fluido y una fuerza de deceleración en la de salida, con lo que se genera un par cuyo sentido va variando de acuerdo con la vibración y con el ángulo de torsión del tubo, que es directamente proporcional a la masa instantánea de fluido circulante. La fuerza de Coriolis es el producto de los vectores w y V , y su valor es:

$$F = 2mw \times V$$

siendo:

F = Fuerza de Coriolis

190 Instrumentación industrial

m = masa del fluido contenida en el tubo recto de longitud L

w = velocidad angular alrededor del eje del tubo en Q

V = velocidad lineal del fluido

El par creado respecto al eje R-R del tubo es:

$$M = 2Fr = 4m Vwr = 4wrQ$$

Si K_s es la constante de elasticidad del tubo y θ el ángulo de torsión del tubo, la fuerza de torsión del tubo que equivale al par creado respecto al eje R-R del tubo es:

$$T = K_s \theta$$

Luego como $M = T$ resulta finalmente el caudal másico:

$$Q = \frac{K_s \theta}{4wr}$$

Los sensores magnéticos de posición están situados en el centro del tubo y combinan dos intervalos de tiempo, uno del movimiento hacia abajo del tubo y el otro del movimiento hacia arriba. De este modo, la diferencia de las ondas se traduce en impulsos que alimentan un integrador lineal. Cuando hay caudal, el integrador carga un condensador y la carga es conectada a una señal analógica proporcional al ángulo de torsión del tubo.

La diferencia en tiempo (M) de las señal((s de los sensores de posición está relacionada con θ y con la velocidad (V_i) del tubo en su punto medio, según

$$tg = \frac{V_i}{2r} \Delta t$$

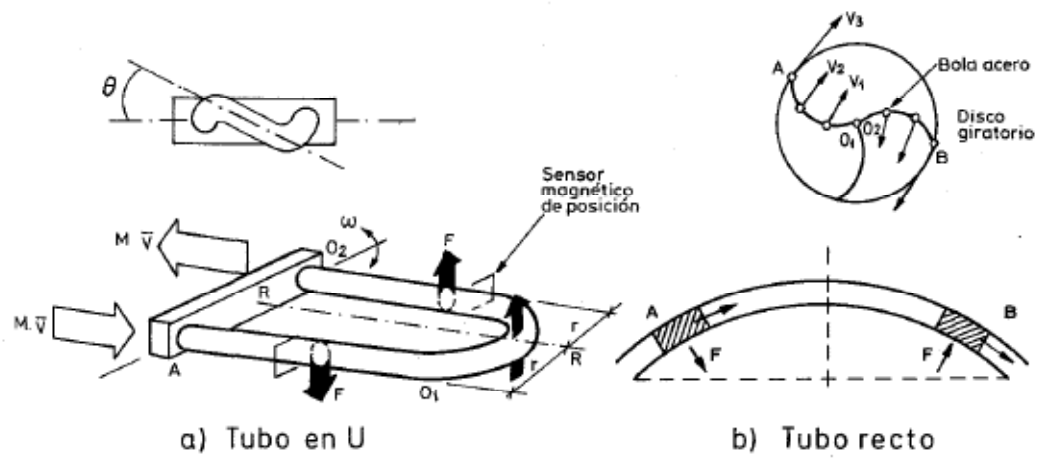


Fig. 4.54 Medidor de Coriolis