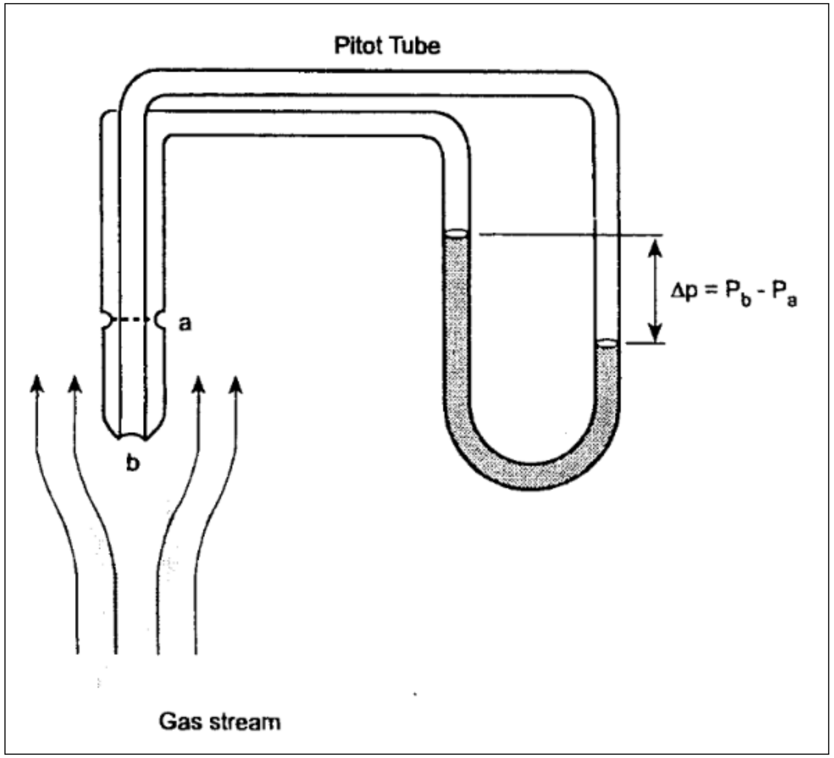
ESTUDIOS DE EMISIONES

MÉTODOS EPA

Ecuación Tubo Pitot

Derivación de la ecuación ...

El tubo pitot (estándar o tipo S) es empleado para medir la velocidad de un gas. Este es un instrumento sensible a la presión que permite determinar la velocidad de corrientes gaseosas basado en el principio de la energía total del sistema. La siguiente figura ilustra el flujo de un fluido gaseoso alrededor de un tubo pitot,



... Derivación de la ecuación

Aplicando la ecuación de Bernoulli a los puntos ’a’ y ’b’ podemos describir el sistema,

$$P_b + \frac{1}{2}\rho v_s^2 \; + \rho g y_1 = P_a + \frac{1}{2}\rho \; v_s^2 \; + \rho g y_2$$

Donde:

P_b = Presión total en el punto ’b’

P_a = Presión libre en el punto ’a’ (presión estática)

ρ = La densidad del gas

g = Aceleración de la gravedad

y = Elevación por encima de un nivel de referencia (despreciable, $y_1 \equiv y_2 \equiv 0$)

v_s = Velocidad del gas

Por cuanto $y_1 \equiv y_2 \equiv 0$, la anterior ecuación se puede escribir,

$$P_b + \frac{1}{2}\rho v_s^2 = P_a + \frac{1}{2}\rho \; v_s^2$$

... Derivación de la ecuación

En el punto 'b' las moléculas chocan perdiendo su energía cinética. La velocidad del gas en el punto 'b' es cero ($v_s = 0$) y la ecuación se transforma en,

$$P_b = P_a + \frac{1}{2}\rho\, v_s^2$$

la energía cinética de las moléculas del gas del punto 'b' han sido utilizadas para realizar trabajo en el fluido manométrico cambiando la altura de la columna ($\triangle p$). Teniendo conocimiento que la energía total del sistema se conserva permite continuar con la descripción del sistema basado en términos de presiones:

$$P_b = P_a + \rho' g(\triangle p)$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido manométrico

$\triangle p$ = Cambio de la altura del fluido manométrico

... Derivación de la ecuación

La presión total es igual a la suma de la presión estática del sistema y la presión de la columna manométrica. Reordenando términos entre las dos ecuaciones anteriores tenemos,

$$\frac{1}{2}\rho v_s^2 = \rho' g(\Delta p)$$

y

$$v_s = \sqrt{\frac{2\rho\,' g(\Delta p)}{\rho}}$$

Que describe el cálculo de la velocidad del gas como un gas ideal en un sistema libre de pérdidas de energía por fricción.

... Derivación de la ecuación

La densidad de un gas desconocido se puede describir en términos de las ley de gases ideales. La densidad del gas se define como,

$$\frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

Sabemos de la ley de gases ideales que,

$$P_s\,V = \frac{m}{M_s} R\,T_s$$

Donde:

P_s = Presión absoluta

V = Volumen

m = Masa del gas

M_s = Peso molecular del gas

R = Una constante

T_s = Temperatura absoluta

... Derivación de la ecuación

Reordenando términos,

$$\frac{m}{V} = \frac{M_s\, P_s}{R\, T_s}$$

Sustituyendo en la definición de densidad y ecuación de velocidad, obtenemos,

$$v_s = \sqrt{\frac{2\rho\,' g(\Delta p)\; R\, T_s}{P_s\; M_s}}$$

Las constantes al interior de la ecuación son:

ρ'_{H_2O} = 62.428 lb/ft^3

g = 32.174 ft/s^2

R = 21.83 (in. Hg-ft^3)/(lb-mol-^{o}R)

12 in H_2O = 1 ft

... Derivación de la ecuación

$$K_p = \sqrt{\frac{2(62.428)\ (32.174)\ (21.83)}{12}}$$

$$= 85.486 ft/s \sqrt{\frac{(lb/lb - mol)(in.Hg)}{^oR - in.H_2O}}$$

$$v_s = K_p \sqrt{\frac{T_s\ \Delta p}{P_s\ M_s}}$$

El último término de la ecuación debe tener en cuenta el efecto de la fricción y la turbulencia resultante en el sistema. Un tubo pitot estándar construido adecuadamente no tendría influencias medibles por efectos de fricción. Se puede asignar un coeficiente de fricción $C_{p(std)}$. Cualquier otro tubo pitot debería ser corregido por efectos de turbulencia alrededor del tubo. Si incluimos el $C_{p(std)}$ en nuestra ecuación de velocidad tenemos,

$$v_s = K_p C_{p(std)} \sqrt{\frac{T_s\ \Delta p}{P_s\ M_s}}$$

Calibración Pitot Tipo S

La velocidad del gas es calculada empleando un tubo pitot estándar con $C_{p(std)}$ será igual a la velocidad medida con un tubo pitot tipo S si conocemos $C_{p(s)}$ para el pitot tipo S.

$$v_s = K_p\ C_{p(std)} \sqrt{\frac{T_s\ \Delta p_{std}}{P_s\ M_s}} = K_p\ C_{p(s)} \sqrt{\frac{T_s\ \Delta p_s}{P_s\ M_s}}$$

Resolviendo para $C_{p(s)}$ obtenemos una expresión que nos permite comparar el tubo pitot tipo S a un tubo pitot estándar con un coeficiente de fricción conocida,

$$C_{p(s)} = C_{p(std)} \sqrt{\frac{\Delta p_{std}}{\Delta p_s}}$$

Ahora se puede utilizar cualquier pitot para medir la velocidad del gas una vez que se conozca $C_{p(s)}$.