



MESURADORS DE CABAL MÀSSIC PER DISPERSIÓ TÈRMICA PER A GASOS

- Mesurador En Línia Tipus "By-Pas"
- Mesuradors Inserirables a Canonada

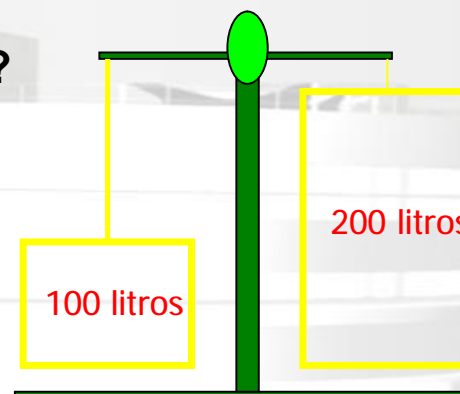


Joan Pedrola i Garde



Introducció

- Per què cabal màssic?



- Els processos demanen qualitat en instrumentació
- El control de cabal electrònic millora el procés
- La mesura màssica directa es més precisa



UNITATS DE MESURA UTILITZADES EN MESURA MÀSSICA EN GASOS

UNITAT	DESCRIPCIÓ
l_n/min	Normal Litres per minut
l_s/min	Litres estandard per minut
m^3_n/h	Normal Metres cúbics per hora
sccm (USA)	Centímetres cúbics estandard per minut
SLPM (USA)	Litres estandard per minut



Cabalímetres Màssics d'alta precisió Tipus "By-Pass"

- Principi de Mesura: Efecte Tèrmic
- Sensor capil·lar
- Element de flux laminar





Principi de mesura: efecte tèrmic

Sensor

El principi bàsic es basa en la mesura de la transferència d'escalfor d'un fluid. La relació entre la transferència d'escalfor i el cabal màssic es descriu en la següent equació:

$$DT = K \cdot C_p \cdot f_m$$

DT = Diferència de temperatura

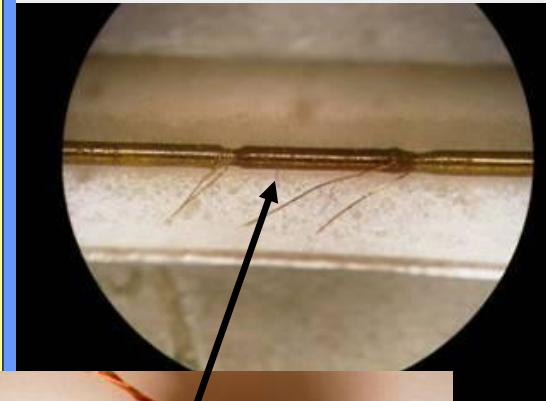
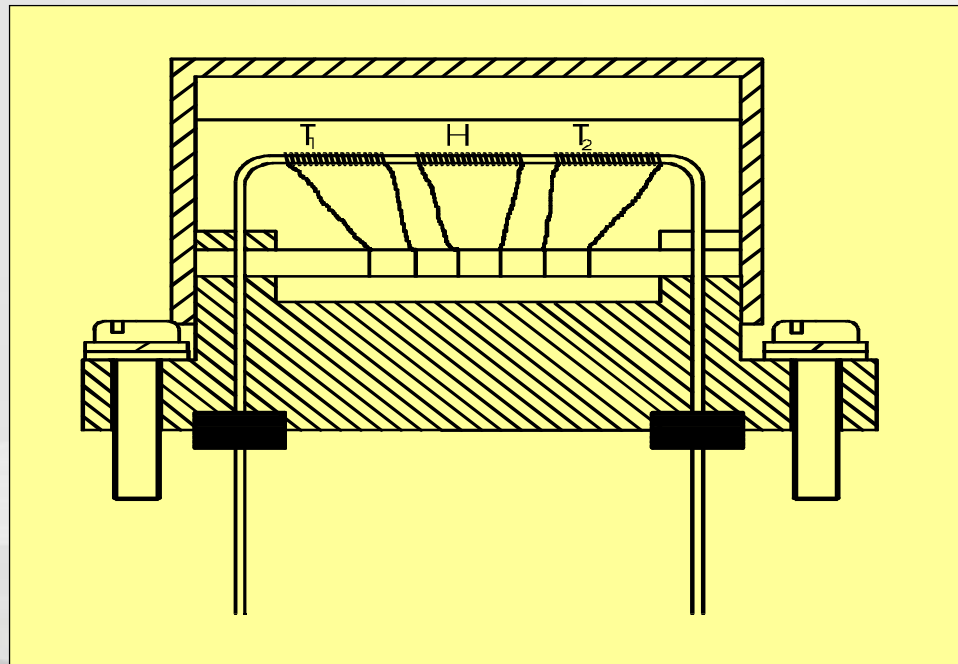
K = Constant del sensor

C_p = Calor específic

f_m = Cabal màssic



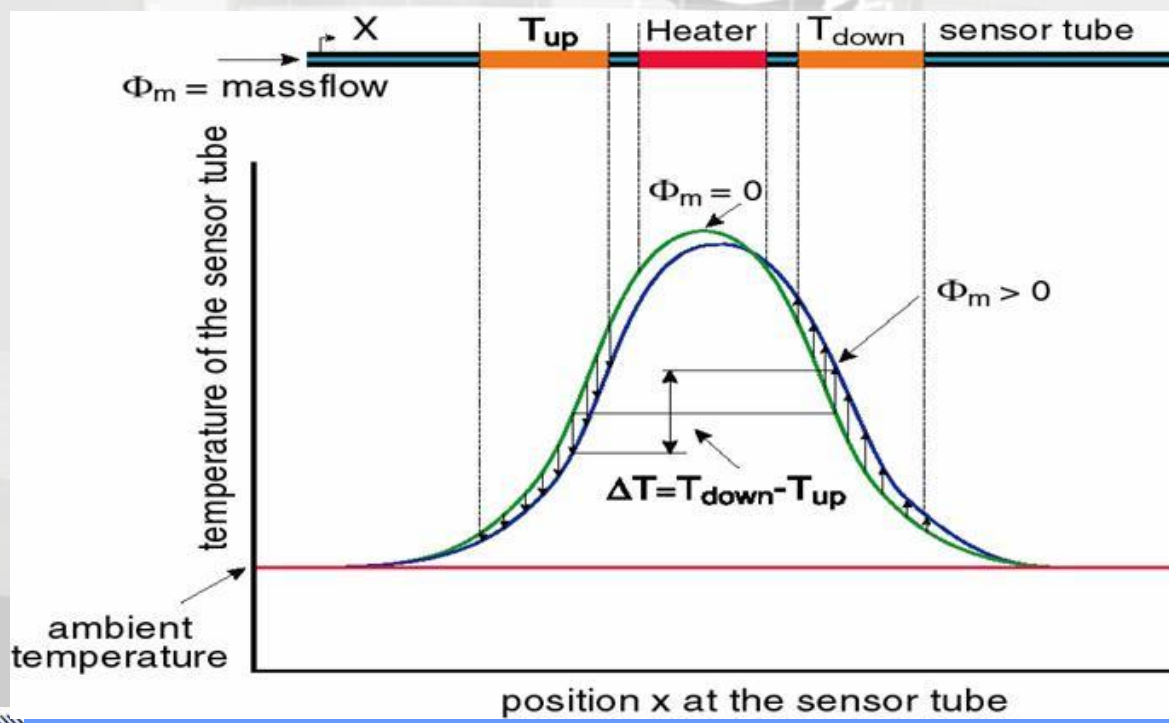
Principi de mesura: efecte tèrmic SENSOR





Principi de mesura: efecte tèrmic

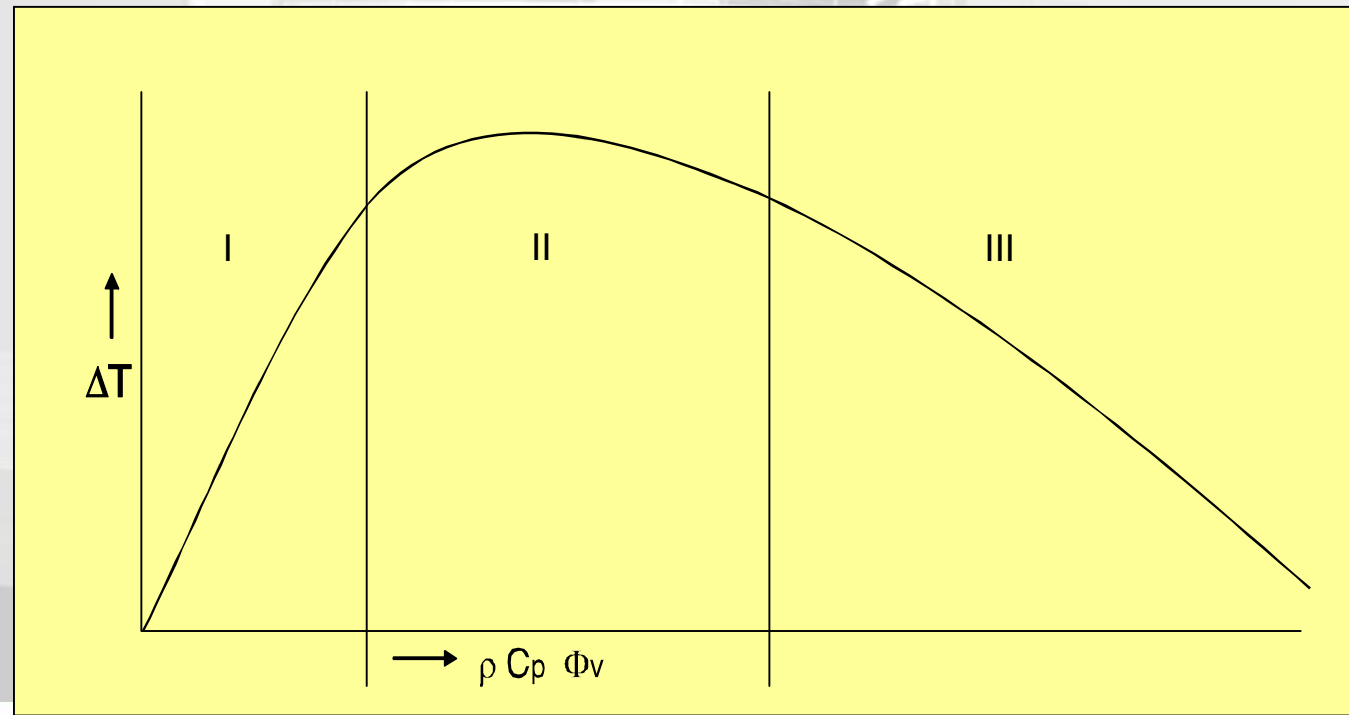
El gas que circula a través del sensor, es escalfat per la Resistència Escalfadora (Heater) (H), i es mesura la temperatura a la entrada (T_1), a la sortida (T_2).



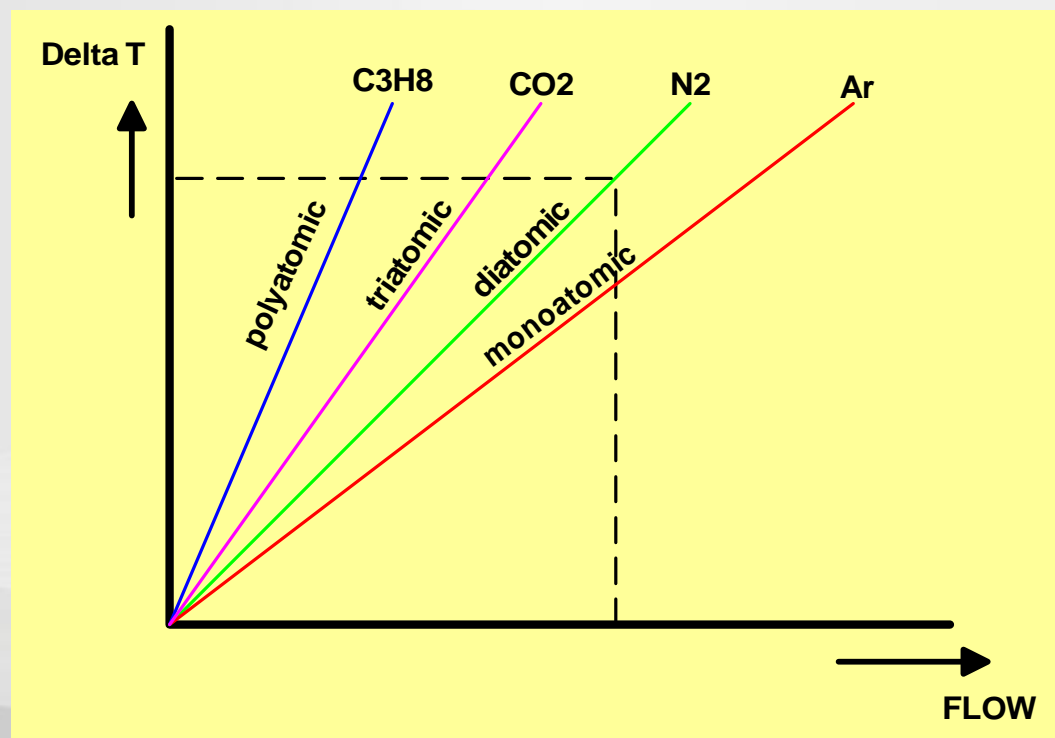


El principi de mesura del cabal màssic

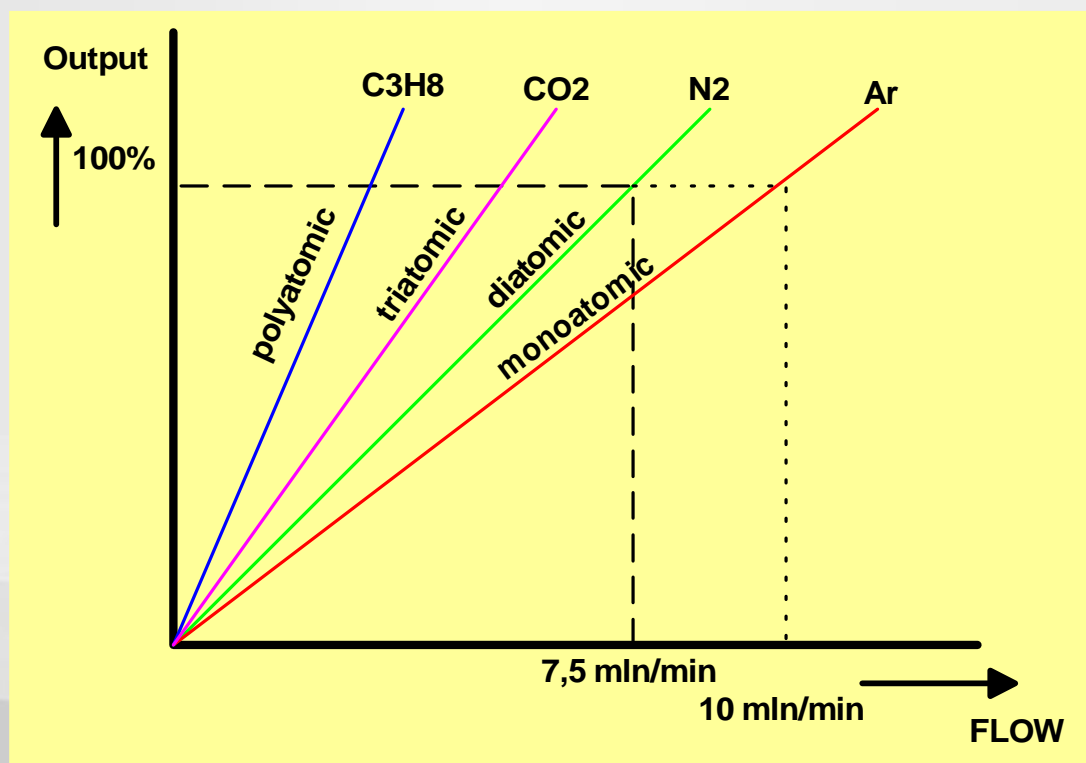
Corba Van de Graaff



Naturalesa del gas



Gasos





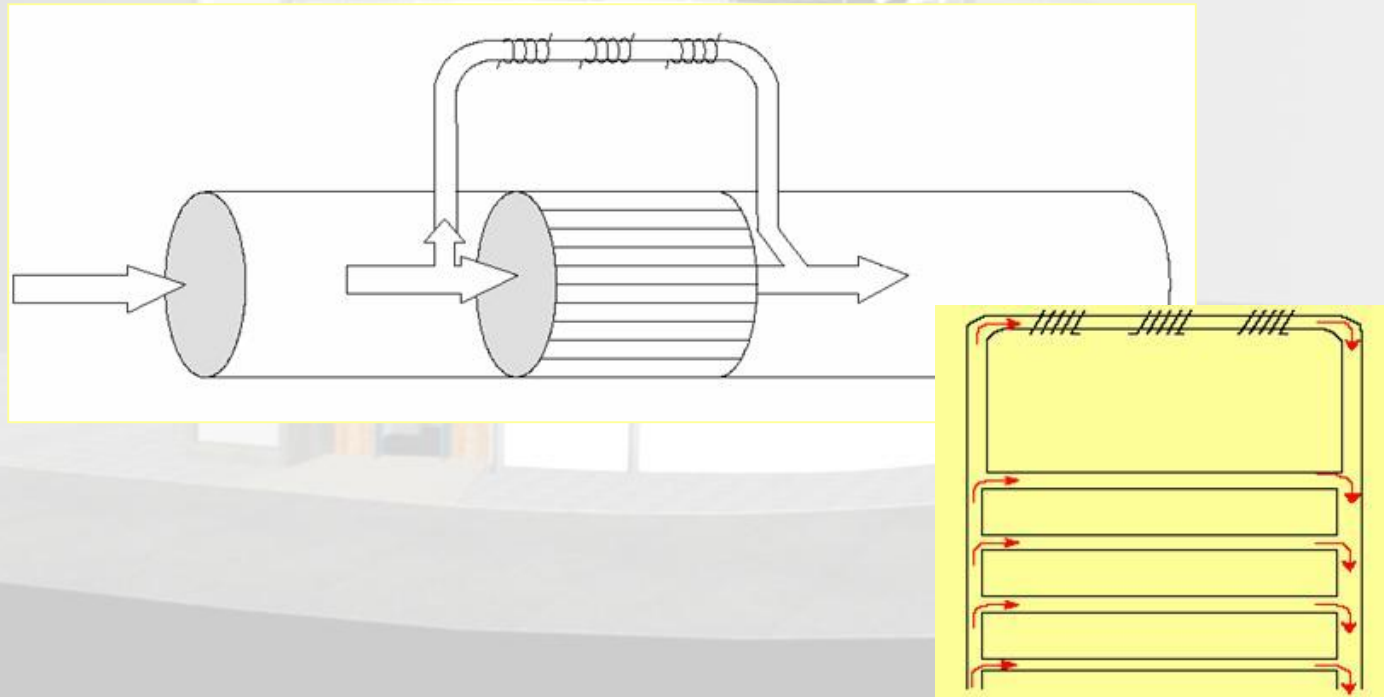
Factor de Conversió

$$cf = \frac{r_{air} \cdot cp_{air}}{r_{cust} \cdot cp_{cust}}$$

$$\Phi_{air} = \frac{\Phi_{cust}}{cf}$$



“The Shunt principle”





Cabal laminar i turbulent

$$Re = \frac{v \cdot r \cdot d_i}{h}$$

V = velocitat (m/s)

r = densitat (kg/m³)

d_i = diàmetre canonada (m)

h = viscositat (Pa.s)

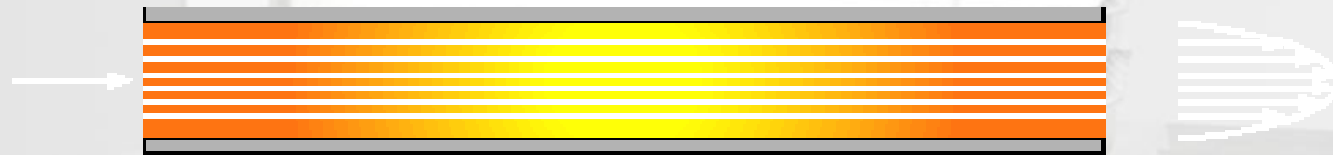
Re = número de Reynolds



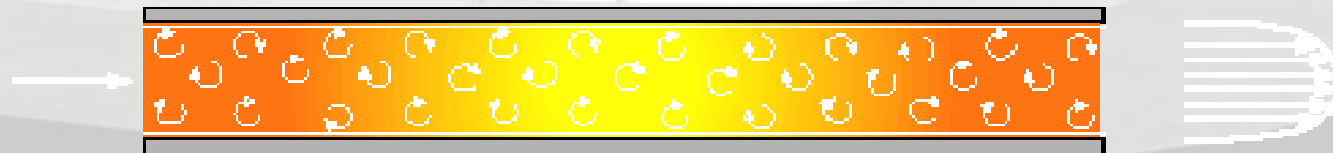
Cabal laminar i turbulent

Perfil de velocitats en un tub cilíndric

Perfil cabal laminar (número de Reynolds \leq ~2300)

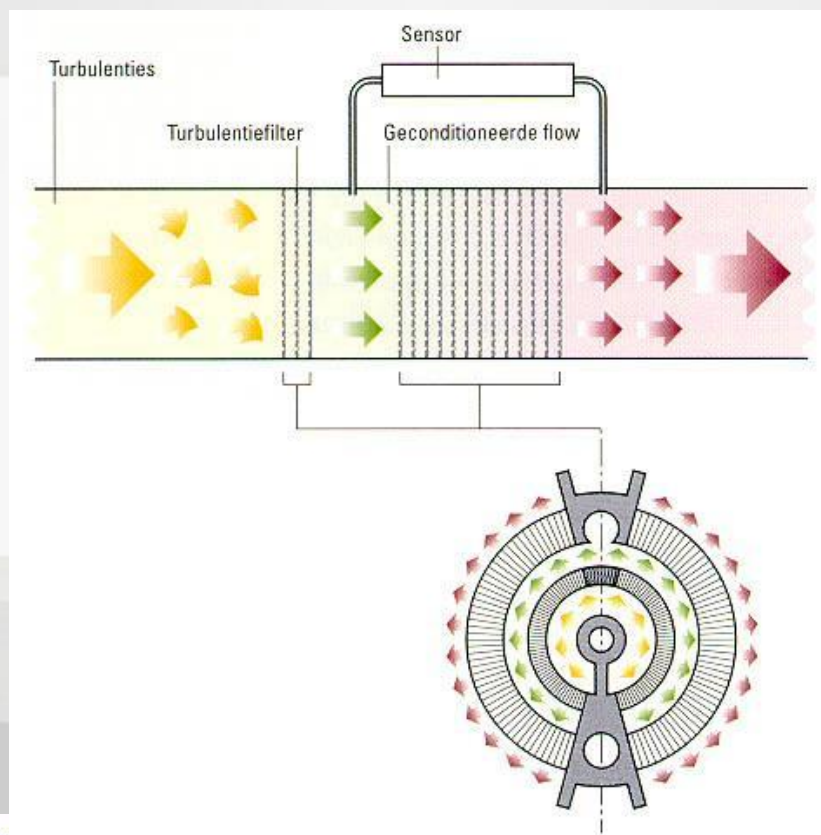


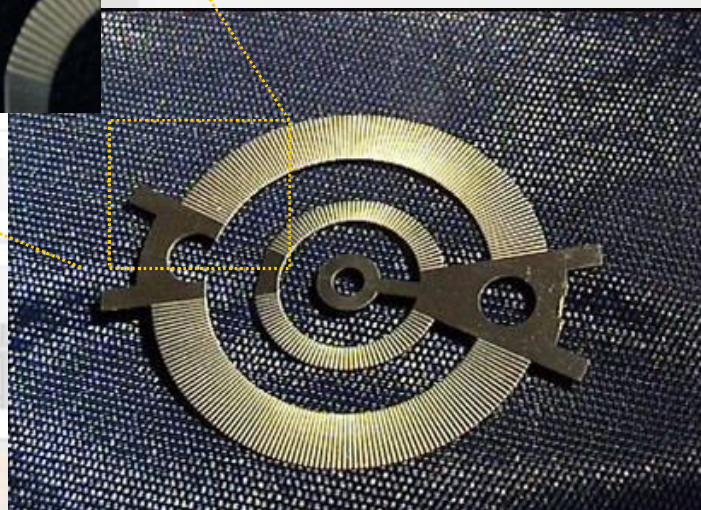
Perfil cabal turbulent (número de Reynolds \geq ~3000)





Element de flux laminar





L'element de flux laminar (LFE) disposa de les mateixes característiques de cabal que el capil·lar

Passaran 10 ml/min d'aire per canal amb una pèrdua de càrrega de 35 mbar



Utilitzant més discs es crea una restricció variable



Precisions:

+/- 0,5% de la Lectura +/- 0,1% Fons d'Escala



Laboratori de Calibració





Laboratori de Calibració





MESURADORS DE CABAL MÀSSIC PER DISPERSIÓ TÈRMICA PER A GASOS

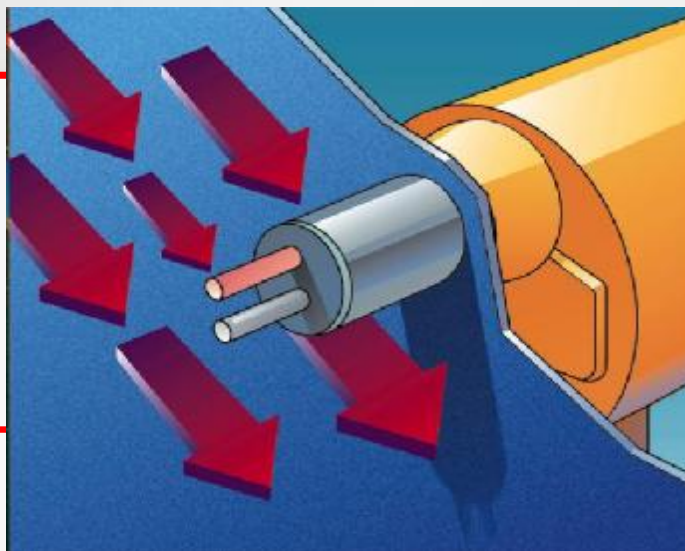
-Mesuradors Inserirables a Canonada





Dispersió Tèrmica

Element Actiu
Sensor de Temperatura
(Pt1000) més
Escalfador

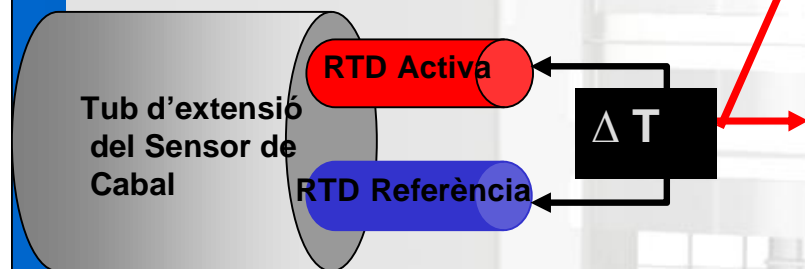


Subministrament de
Potència constant des
de la electrònica a la
Resistència
Escalfadora

Element de
Referència (Pt1000)



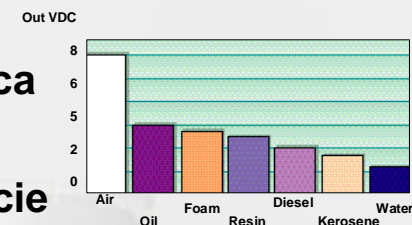
Dispersió Tèrmica



Sense Cabal:

Conductivitat Tèrmica

- Detecció de Nivell
- Detecció de Interfície



Amb Cabal

Conductivitat Tèrmica + Efecte

Refredador

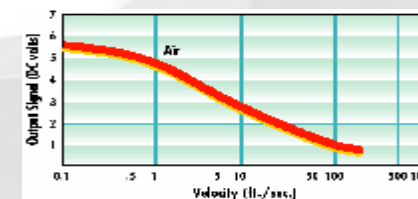
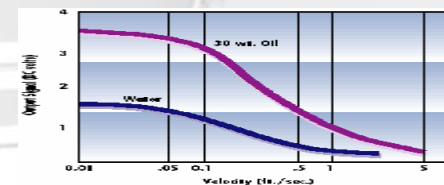
- Detecció de Cabal

§ Líquids

§ Gasos

- Mesura de Cabal

§ Massa del Gas





Dispersió Tèrmica

Paràmetres que intervenen en la Mesura

Velocitat

Viscositat

Conductivitat Tèrmica

Densitat

Calor Específic



Principi de mesura: efecte tèrmic

Sensor

El principi bàsic es basa en la mesura de la transferència d'escalfor d'un fluid. La relació entre la transferència d'escalfor i el cabal màssic es descriu en la següent equació:

$$DT = K \cdot C_p \cdot f_m$$

DT = Diferència de temperatura

K = Constant del sensor

C_p = Calor específic

f_m = Cabal màssic



Equació del refredament del Sensor

$r v$ = Velocitat Màssica

C, M, N = Constants

d = Diàmetre del Element Escalfat

a = Àrea del Element Escalfat

W = Potència Escalfadora

DT = Diferència de Temperatura

**Propietats
del Gas**

k = Conductivitat Tèrmica del Gas

m = Viscositat Absoluta del Gas

c_p = Calor Específic del Gas (a Pressió Constant)

$$\rho \times v = \frac{\mu}{d} \left(\frac{d \cdot W}{a \cdot \Delta T \cdot c \cdot k \left(\frac{c_p \cdot \mu}{k} \right)^N} \right)^{1/M}$$

Velocitat Màssica = $f(a, d, W, DT, m, c_p, k)$



Equació Bàsica del Refredament:

$$V = C (W/\Delta T)^X$$

On:

V = Velocitat Màssica

C, X = Constants de Calibració

W = Potència Escalfadora

T = Diferència de Temperatura

El disseny amb escalfament de potència constant permet la mesura de la velocitat màssica des de la ΔT

La experiència de més de 40 anys d'aplicacions de la tecnologia ho demostra



Cabal Màssic

Equacions del Cabal Màssic

$$M = \rho \cdot A \cdot v \quad \text{ó} \quad M = \rho \cdot Q$$

ON

M = Cabal Màssic (massa/temps) kg/sec

ρ = Densitat del Gas (massa/volum) kg/m³

A = Àrea de la conducció (àrea) m²

v = Velocitat del Gas (longitud/temps) m/sec

Q = Cabal Volumètric (volum/temps) m³sec

Mètode de Mesura Indirecte:

$$\text{Cabal Volumètric} = Q = V \cdot A$$

amb un Instrument Addicional per a mesurar Densitat
(temp & pressió & densitat en condicions Normals)



Dispersió Tèrmica

En altres paraules:

Mesurem la velocitat de refredament del Gas degut a les molècules que flueixen als voltants del sensor de cabal.

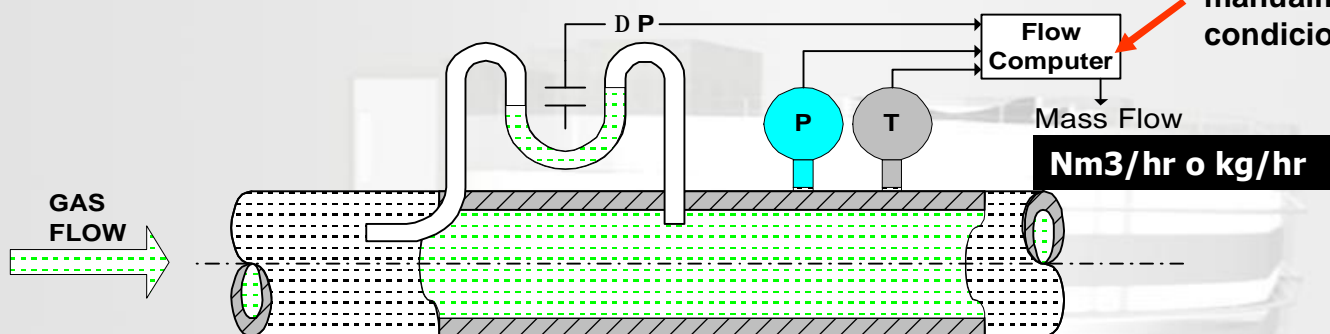
Els sensors seran refredats més o menys depenent de

la densitat multiplicada per **la velocitat** d'aquestes Molècules del Gas. Multiplicant pel **diàmetre intern de la conducció** arribarem a una **Mesura directa de la Massa vehiculada**.



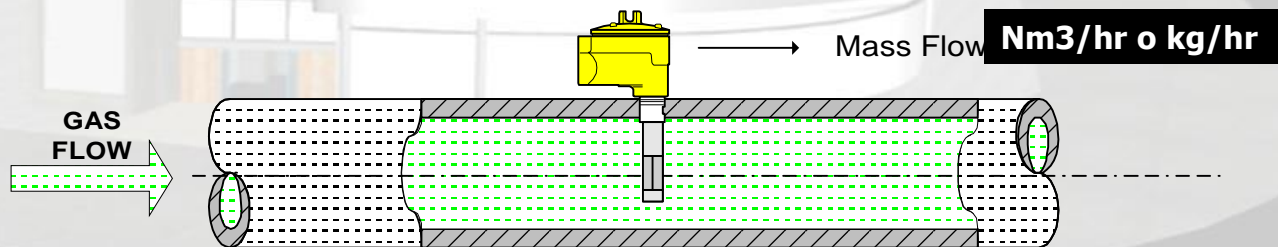
Dispersió Tèrmica

Non Direct Mass Flow Measurement



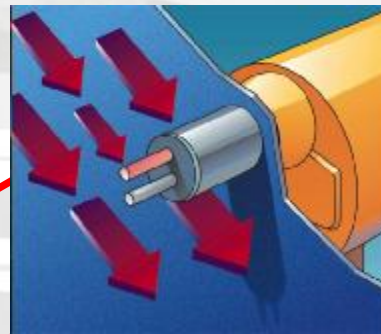
Es necessari introduir manualment la densitat en condicions Normals !!

Thermal Mass Flow Measurement





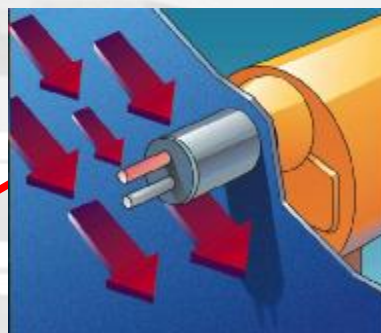
Diferència de Temperatura a Cabal Zero amb la tecnologia de Potència Calòrica Constant



Temp. Proces	RTD de Referència	RTD Activa (.75 watts)	T (▲R)
20°C	20°C (1075Ω)	55°C (1185Ω)	+30°C (110Ω)
450°C	450°C (2685Ω)	480°C (2795Ω)	+30°C (110Ω)



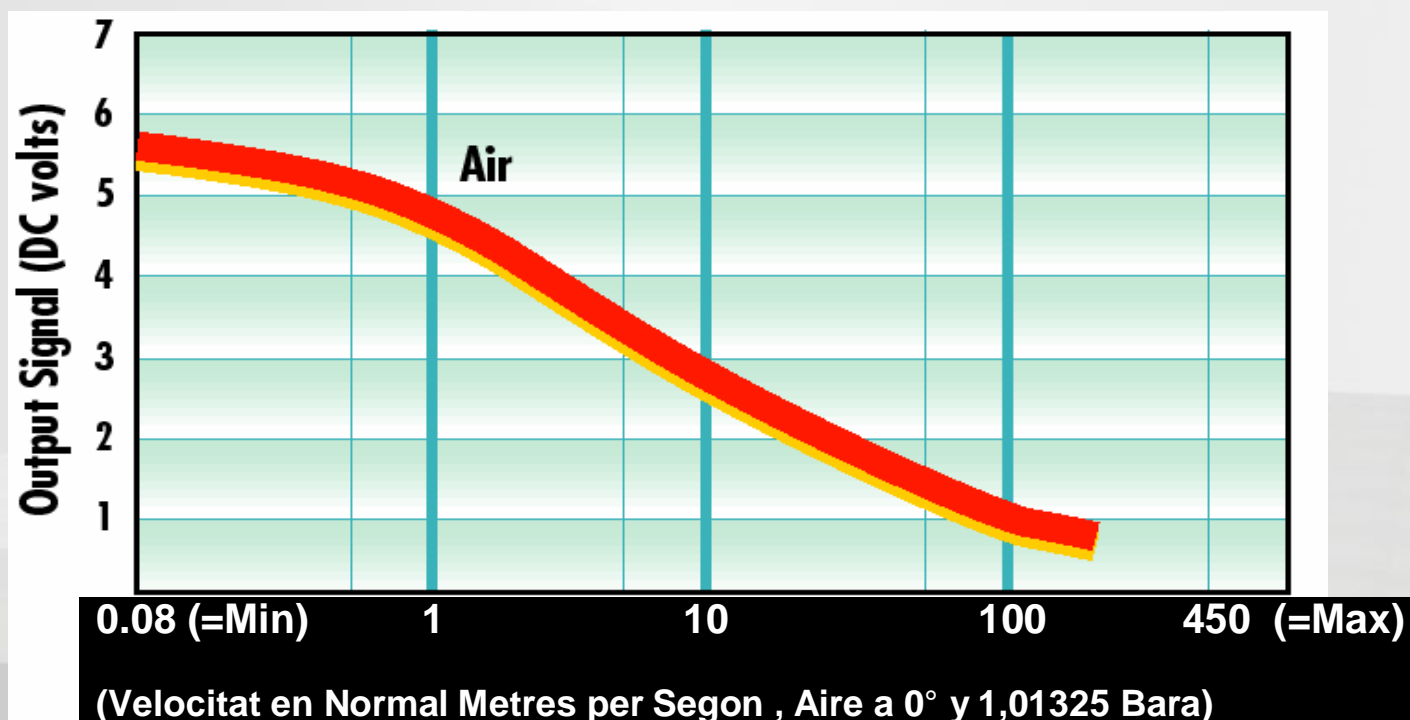
Diferència de Temperatura a un cert Cabal amb la tecnologia de Potència Calòrica Constant



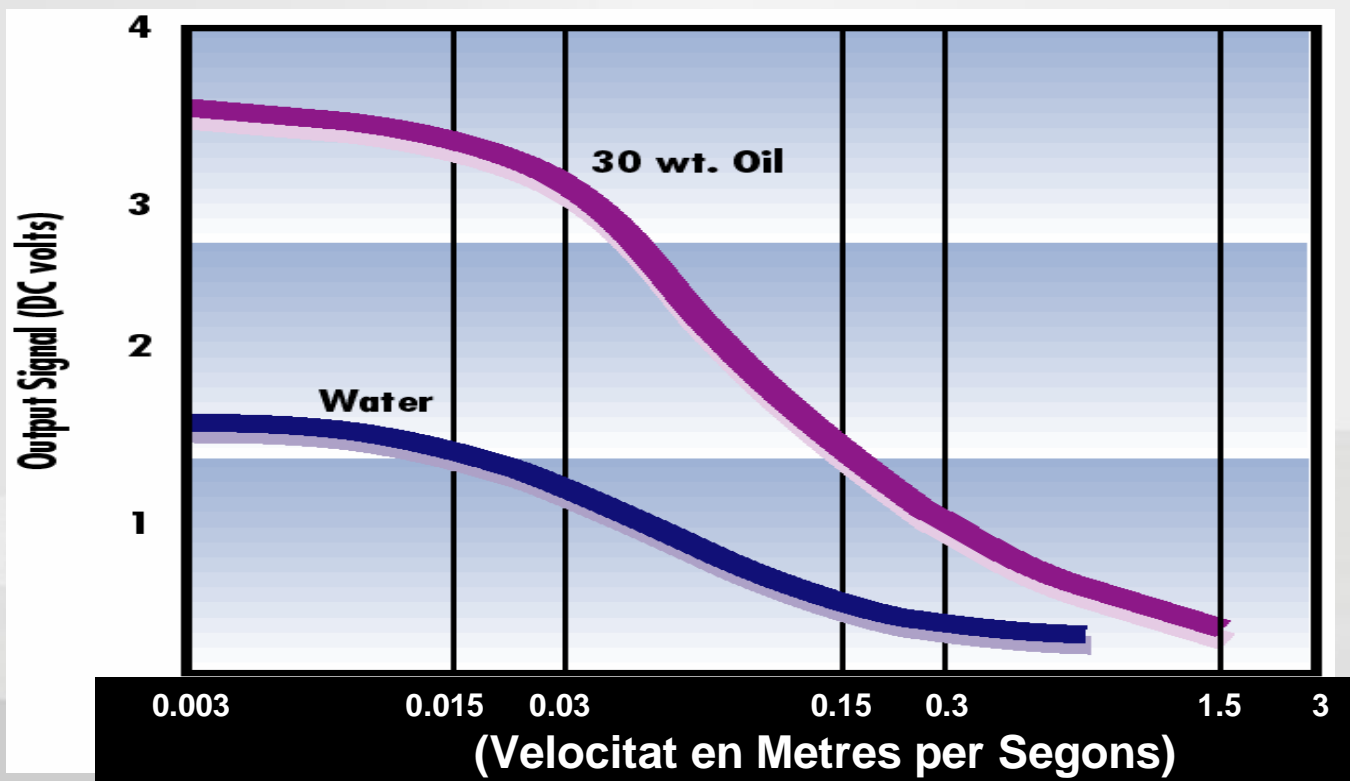
Temp. Proces	RTD de Referència	RTD Activa (.75 watts)	T	(Δ R)
20°C	20°C (1075 Ω)	25°C (1095 Ω)	+5°C	(20 Ω)
450°C	450°C (2685 Ω)	455°C (2705 Ω)	+5°C	(20 Ω)



Senyal Típic per a cabal de Gasos



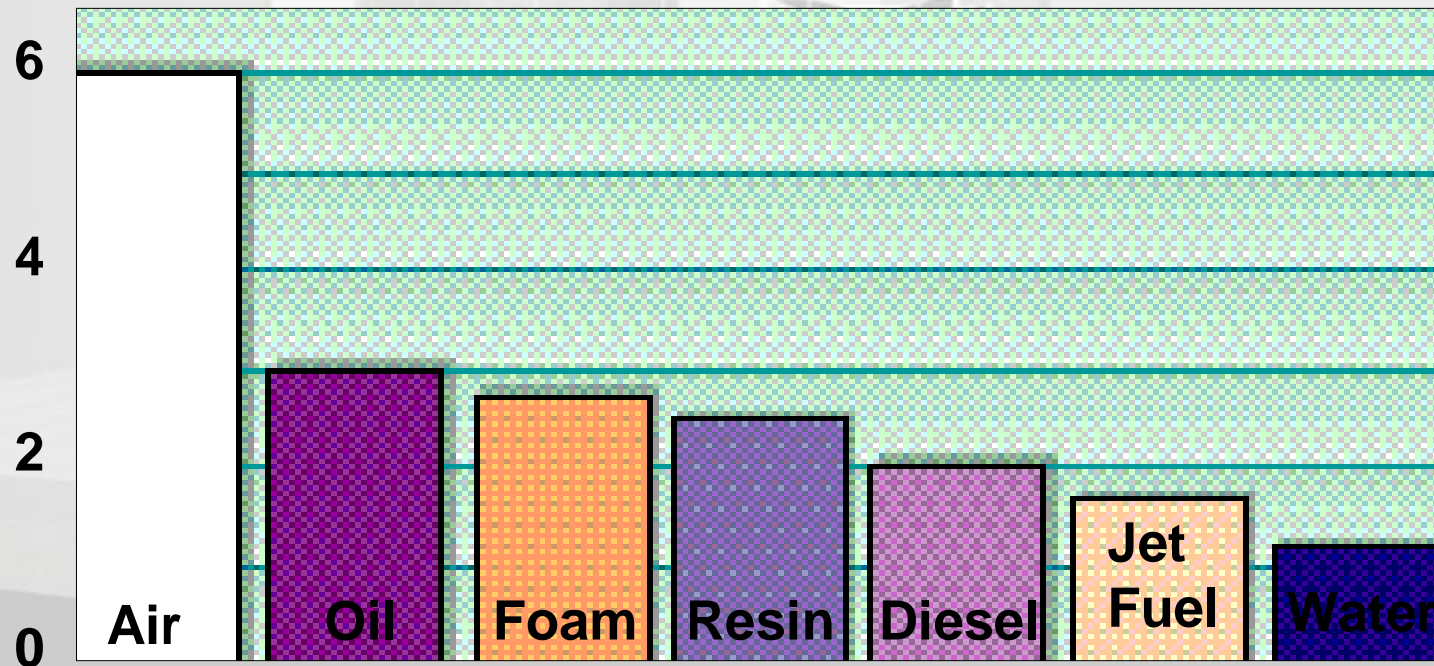
Senyals Típics per a Líquids





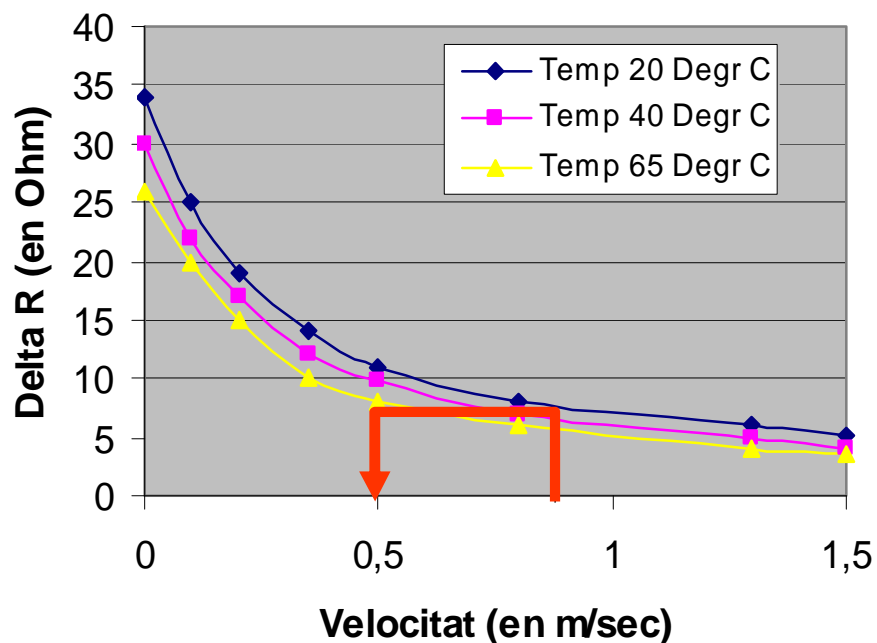
Senyals Típics al submergir el Sensor en un mitjà a Cabal Zero

Out vdc



Senyals Típics Sense Compensació de Temperatura

FLT93-S en Oli Mineral Sense COMP de TEMP



Exemples d'efectes en el Setpoint quan no es compensa per temperatura:

Posada en marxa a 20 ° C:

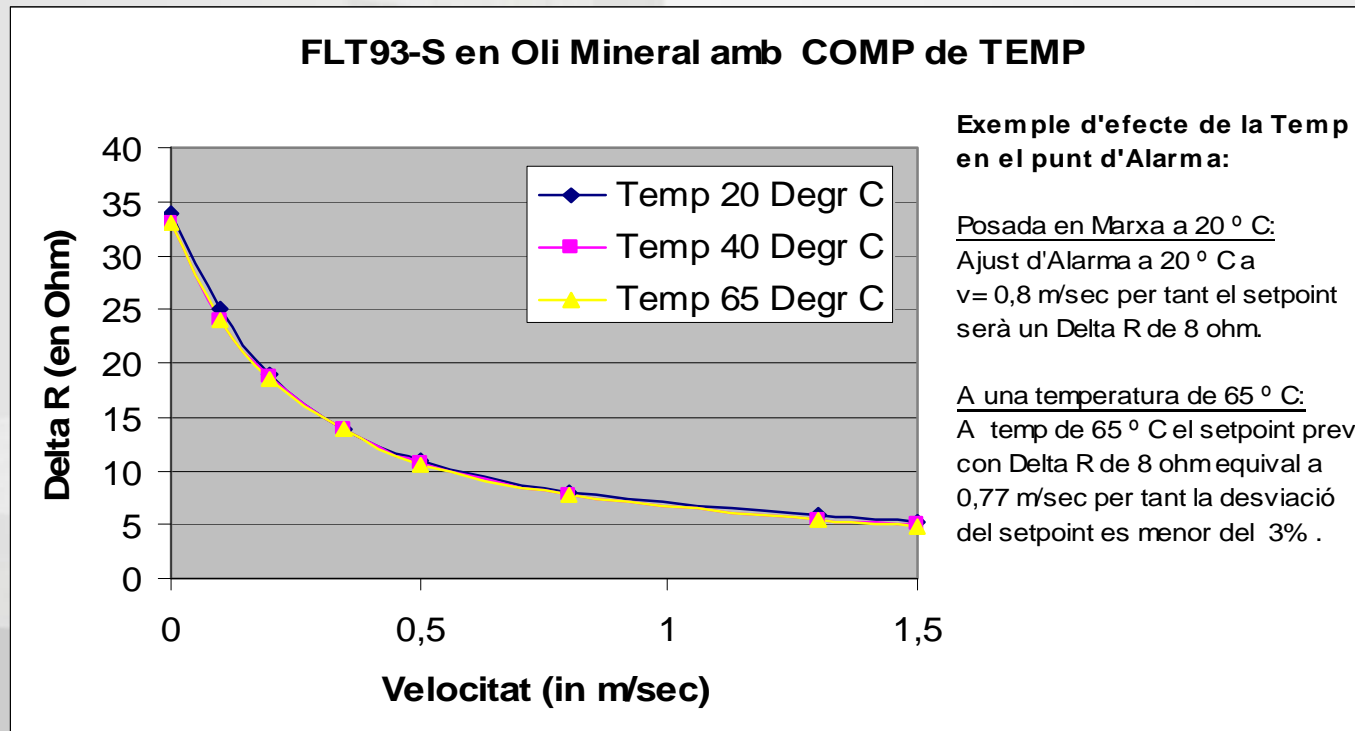
Alarma a 20 ° C a $v = 0,8$ m/sec per tant l'Alarma és a una Delta R de 8 ohm.

Amb Temperatures de 65 ° C:

A una temp de 65 ° C l'Alarma és a una Delta R de 8 ohm corresponent a una velocitat de 0,5 m/sec per tant el punt d'Alarma s'ha desplaçat més un 60% degut a les variacions de temp.



Senyal Típic amb Compensació de Temperatura





Precisions:

+/- 1 % de la Lectura +/- 0,5 % Fons d'Escala



Laboratori de calibració Totalment Automatitzat



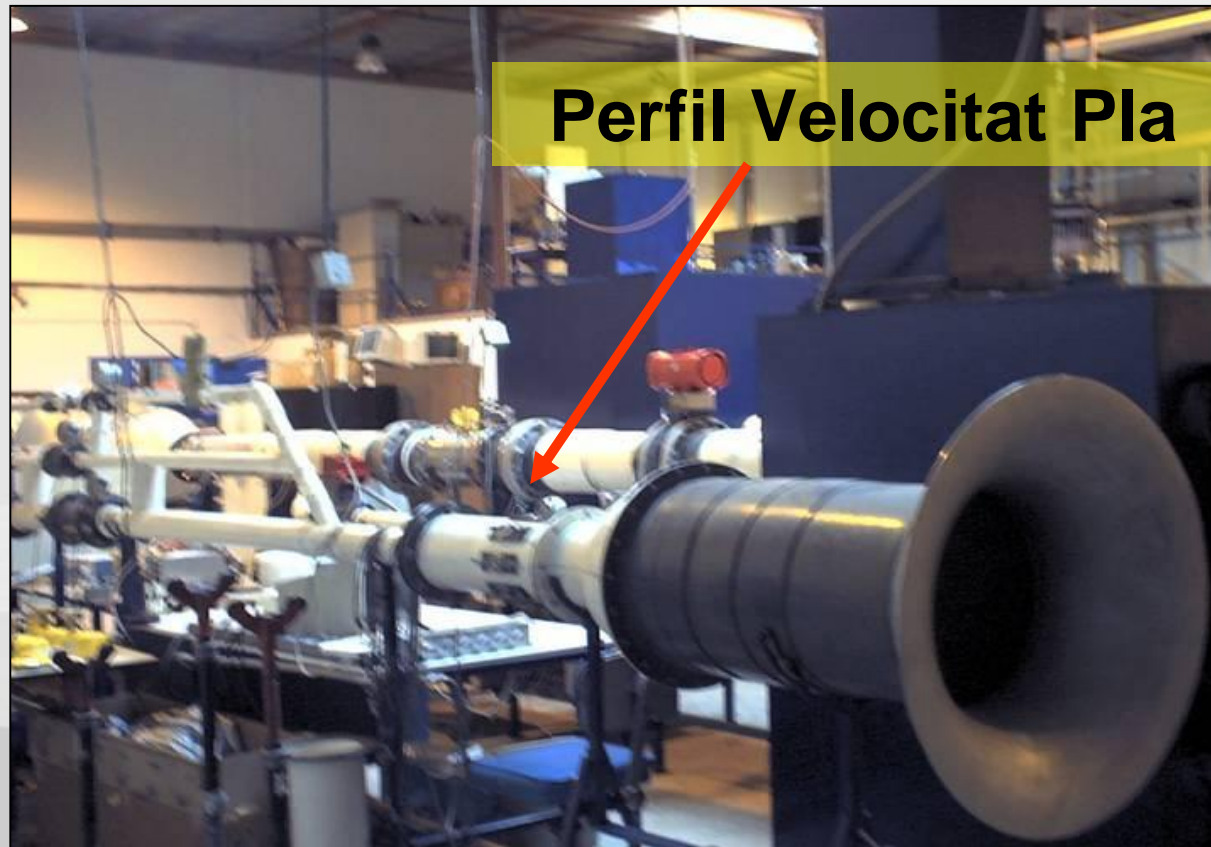


Laboratori de Calibració d'Altes Temperatures (Fins 455°C)





Laboratori de Calibració de Perfil de Velocitat Pla



Perfil Velocitat Pla



Laboratori 40 Bar





Laboratori amb Mescles Sintètiques de Gasos





Laboratori d'Aire Comprimit Automatizat





Laboratori de Gasos Especials



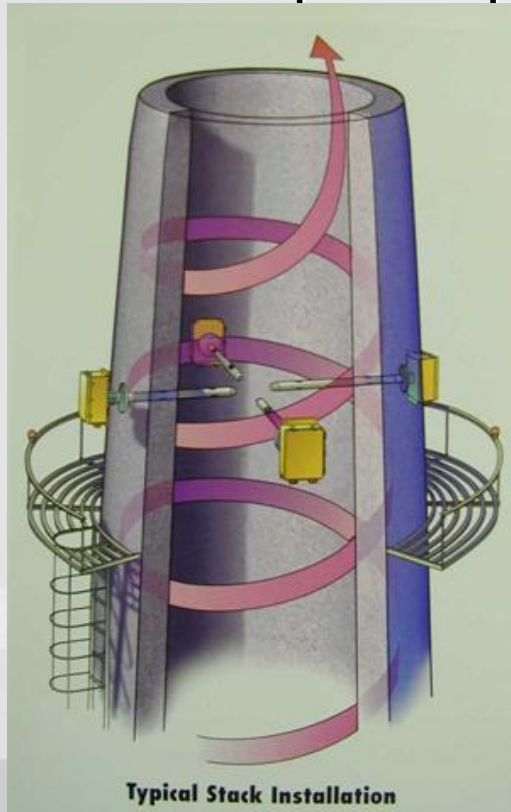


Laboratori de Líquids



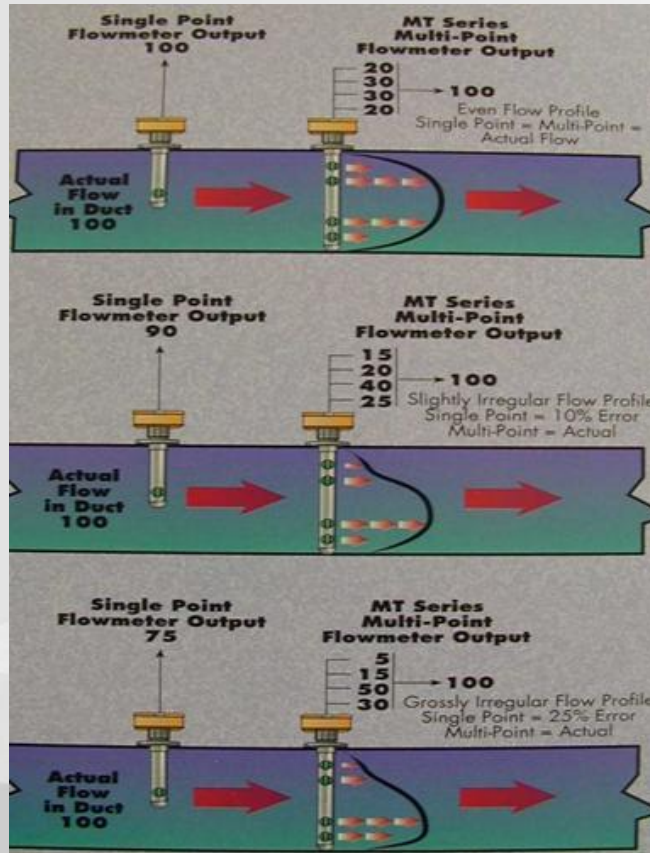


Exemple d'Aplicació: Mesura de Cabal de Fums

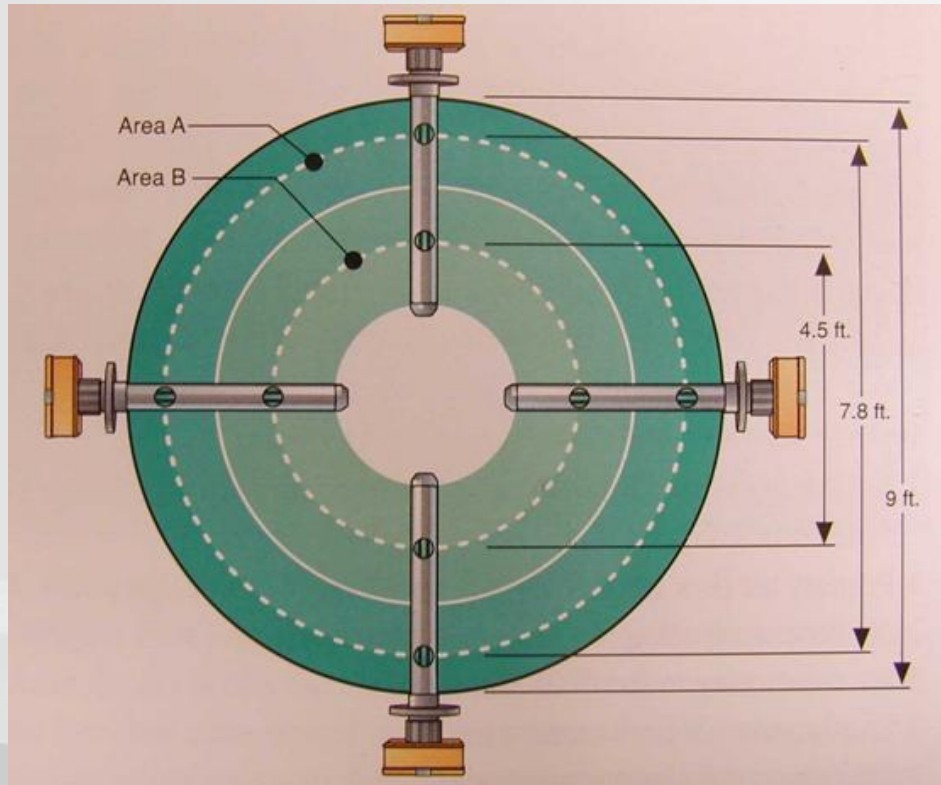


¿Per què es mesura el cabal en ximeneies?

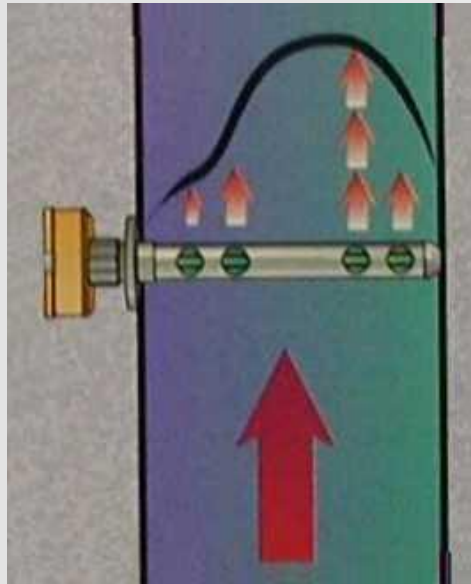
Per al control de la contaminació
(Real Decreto 430/2004 de 11/03/04)



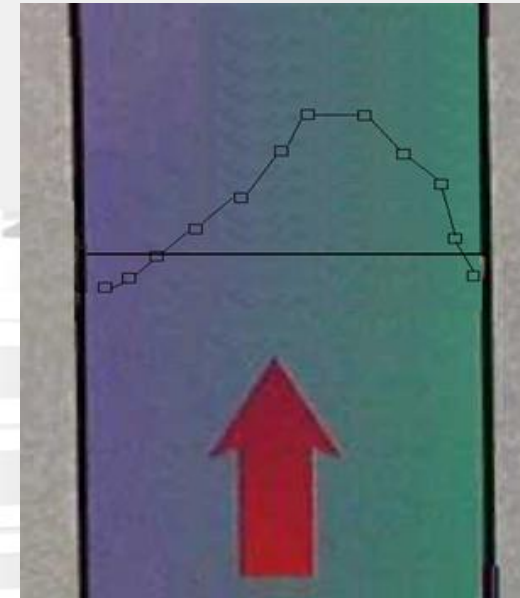
ELs perfils de Velocitat solen ser Asimètrics



Es procedeix a
distribuir el
nombre de punts
de mesura



Encara que la temperatura sigui elevada s'han de considerar possibles zones fredes





Exemple de sonda per a
ximeneia de 6 metres de
diàmetre

