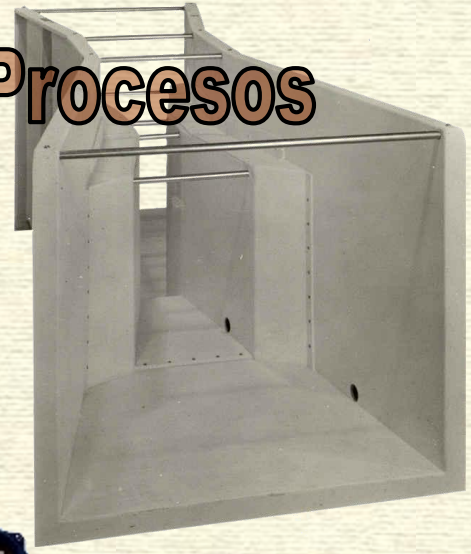
Instrumentación Industrial de Procesos



TEMA 5
ELEMENTOS DE CAUDAL

4TA. PARTE

Departamento de Ingeniería de Procesos
y Gestión Industrial

TEMA 5:
MEDICIÓN DE CAUDAL DE FLUIDOS

- La variable caudal, tipos. Perfil de velocidades, factores que determinan el régimen de flujo, fluidos no newtonianos, distorsiones. Características especiales de caudalímetros: amplitud de rangos, totalización. Elementos diferenciales convencionales, y de flujo crítico. Medidores de área variable y de desplazamiento positivo. Caudalímetros a turbina, oscilatorios, electromagnéticos y ultrasónicos. Medición de caudal másico: directos, inferenciales, térmicos y con corrección por densidad. Caudalímetros para canales abiertos. Selección de caudalímetros: especificación y procedimiento.

TIPOS DE CAUDALÍMETROS (Norma BS-7405)

- Convencionales de presión diferencial
- Otros tipos de presión diferencial
- De desplazamiento positivo

- Rotatorios
- De Área variable
- Oscilatorios para fluidos
- Electromagnéticos
- Ultrasónicos
- Másicos directos e indirectos
- Térmicos
- Otros para fluidos en ductos cerrados
- De canal abierto
- Para sólidos

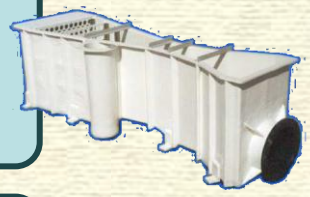
CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS

Es ampliamente utilizado en muchas industrias, en particular en la medición de efluentes industriales y domiciliarios. Son típicamente utilizados para grandes flujos que no pueden ser transportados dentro de conductos.

Para medir el caudal, **se estrecha la sección transversal** del canal, acelerando la circulación y variando la altura del líquido.

COMPONENTES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

Elemento Primario:
Vertedero o canaleta que acelera el flujo

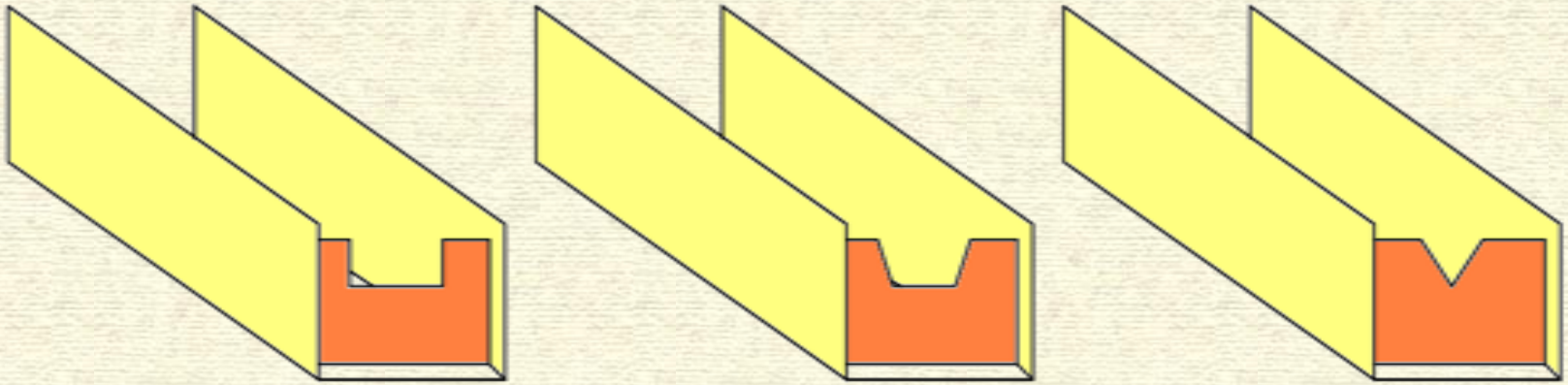


Elemento Secundario:
Transmisor/indicador de nivel

CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS

Vertederos

Un vertedero es una placa (metálica o de concreto) colocada transversalmente a la corriente con una hendidura a través de la cual pasa la corriente líquida.



Rectangular | Cippoletti | Triangular

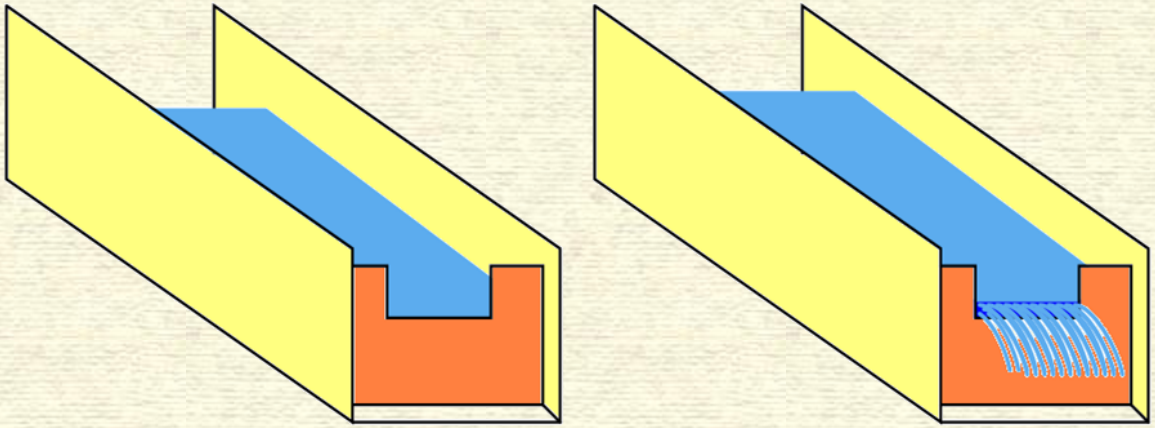
Se utilizan vertederos de **formas variadas** que provocan una diferencia de alturas de líquido en el canal entre la zona anterior del vertedero y su punto más bajo.

El vertedero debe formar un **ángulo recto con la dirección del caudal** y el canal aguas arriba debe ser recto como mínimo en una distancia de **10 veces** el ancho.

CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS

Vertederos

La altura del Líquido sobre el vertedero se relaciona mediante fórmulas empíricas.



Rectangular

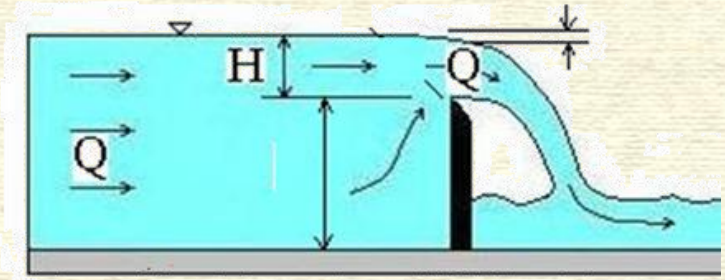
$$Q = 3.33(L - 0.2H)H^{1.5}$$

Triangular

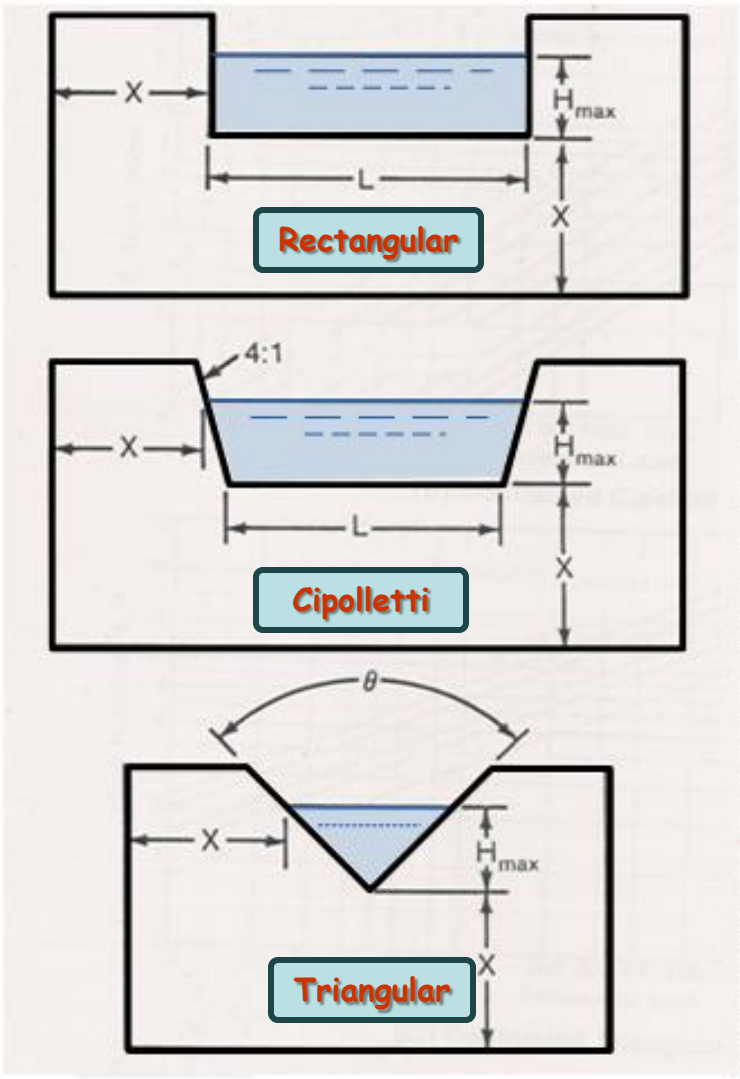
$$Q = 2.48\left(\tan\frac{\theta}{2}\right)H^{2.5}$$

Cipolletti

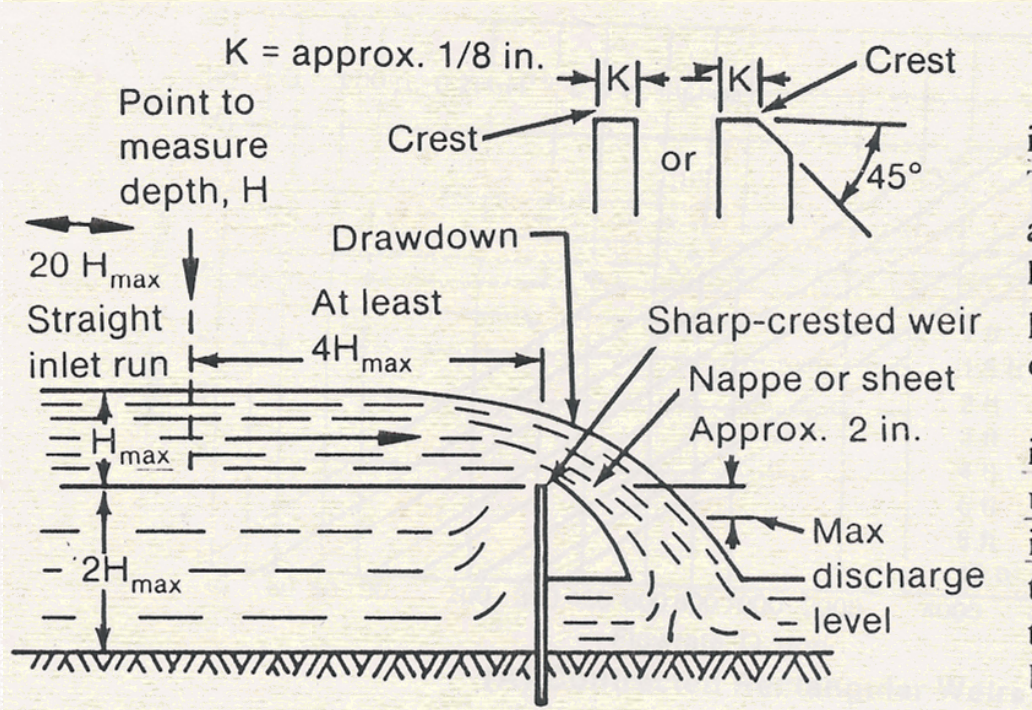
$$Q = 3.367LH^{1.5}$$



CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS
Vertederos



Para el dimensionamiento, se debe determinar la **Hmax** correspondiente al caudal máximo. Las dimensiones restantes se relacionan con este parámetro.

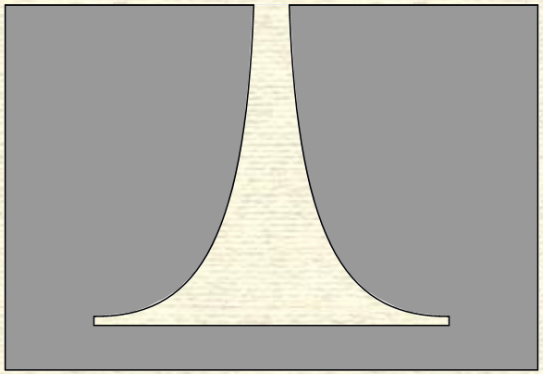


$$L \geq 3H_{max} \qquad X \geq 3H_{max}$$

CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS
Vertederos

La precisión varía del 2 al 5 % con rangeabilidad alta (25:1).
Requieren mantenimiento por acumulación de sedimentos contra el vertedero.

CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS
Vertederos lineales

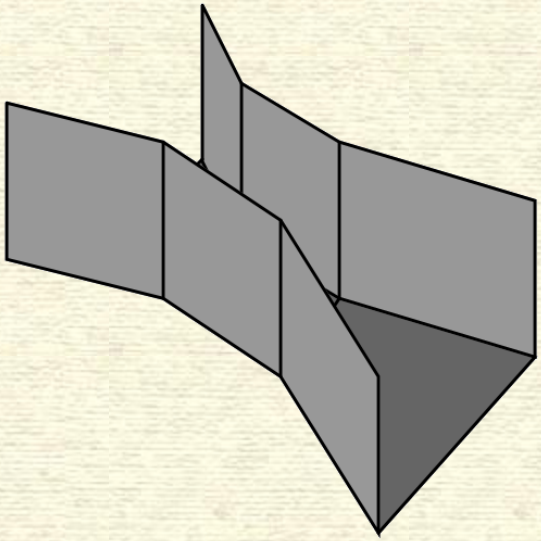


Los vertederos vistos tienen una relación no lineal entre altura de la cresta líquida y caudal.

Pa tener una **relación lineal**, el vertedero debe tener un **perfil muy especial** como el de la figura.

No se usan a menudo, debido a su estructura intrínsecamente débil y tendencia a obstruirse con los sólidos en suspensión del líquido

CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS
Canaletas Parshall



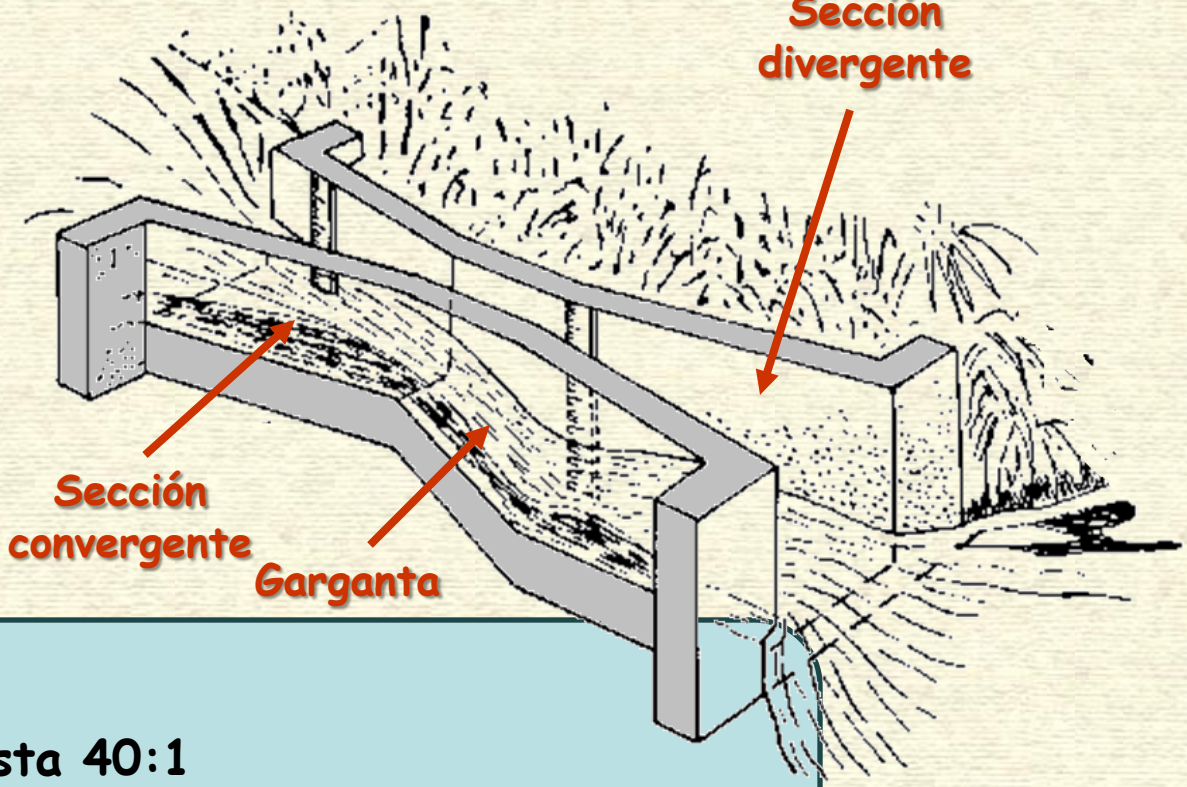
Estos dispositivos se aplican con líquidos con alto porcentaje de sólidos o cuando el espacio disponible no es suficiente para usar vertederos.

Este elemento fue desarrollado por R.L. Parshall en 1920 que estableció el estándar.

Se fabrican como piezas completas de metal u otro material resistente o se cons-truyen en concreto.

CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS
Canaletas Parshall

Las canaletas consisten en una restricción en la sección de pasaje de un canal en el que también se cambia el nivel de fondo.



CARACTERÍSTICAS

- Pérdida de carga baja
- Alta Rangeabilidad: hasta 40:1
- Evita acumulación de sedimentos
- No posee partes móviles (bajo mantenimiento)
- Moderada exactitud (típicamente 3% a 10% R).
- Gran variedad de tamaños y disponibles comercialmente.
- Pueden diseñarse, pero tienen una geometría complicada

CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS
Canaletas Parshall

El caudal de líquido se relaciona con la **potencia 3/2** del nivel (aunque variable de acuerdo al tamaño).

Para el dimensiona-miento se detemina primero h_{max} para el máximo caudal y con éste calcula **W** (ancho de la canaleta en la zona estrechada).

Hay fórmulas y gráficas disponibles

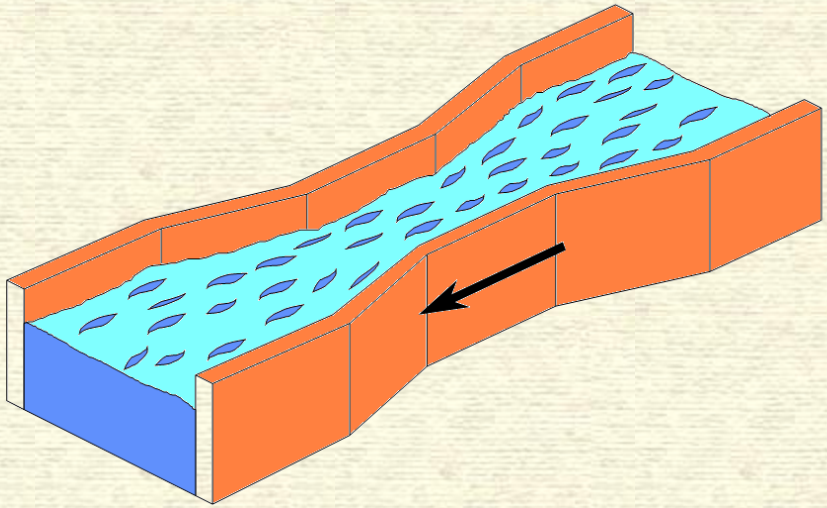
THROAT WIDTHS	FORMULAS
3"	$Q = 0.992 h_a^{1.547}$
6"	$Q = 2.06 h_a^{1.58}$
9"	$Q = 3.07 h_a^{1.53}$
12"	$Q = 3.95 h_a^{1.55}$
18" - 72"	$Q = 4.00 W h_a^{1.522(W\,\hat{}\,0.026)}$

Where:

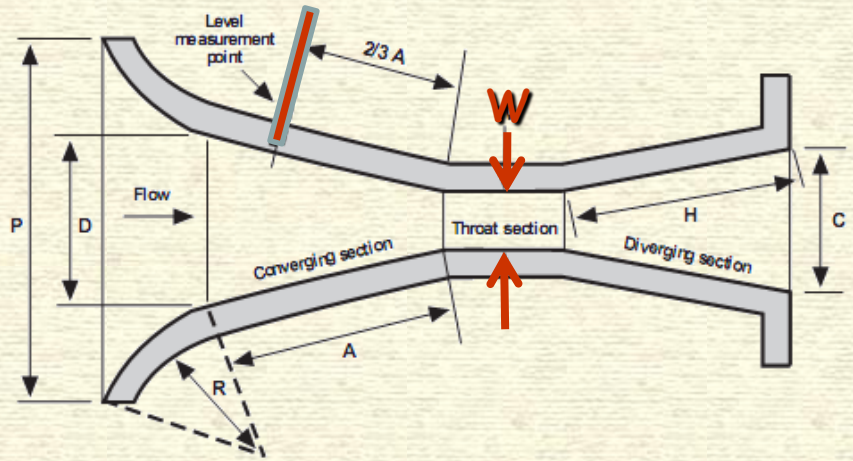
Q = Discharge in cubic feet per second (cfs)

h_a = Depth of water in flume inlet in feet (ft)

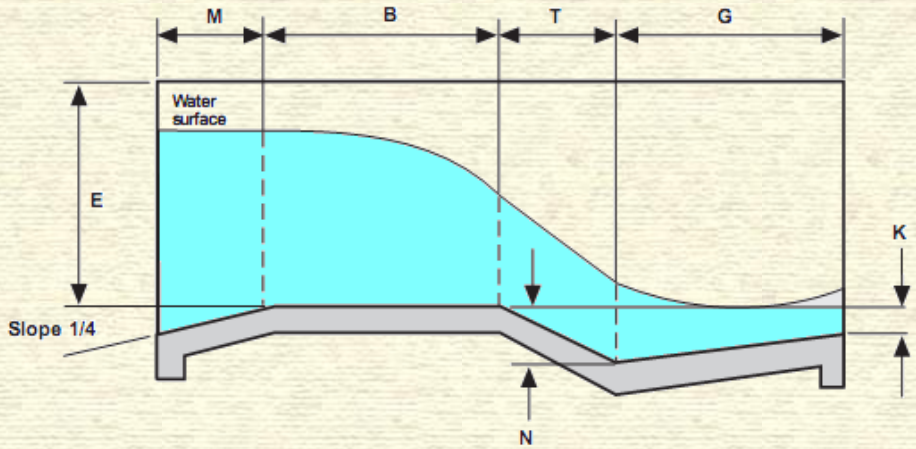
W = Flume throat width in feet (ft)



CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS
Canaletas Parshall



W	A	B	C	D	E
3	18.38	18.0	7	10.9	24.0
6	24.44	24.0	15.5	15.63	24.0
9	34.63	34.0	15.0	22.63	30.0
12	54.0	52.89	24.0	33.25	36.0
18	57.0	55.88	30.0	40.38	36.0
24	60.0	58.88	36.0	47.50	36.0
36	66.0	64.75	48.0	61.88	36.0

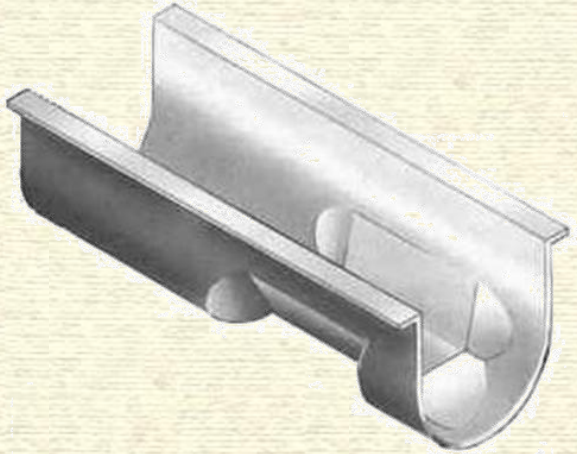


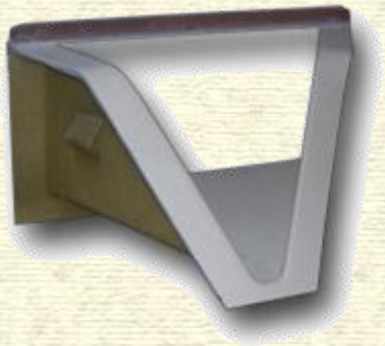
W	E	F	G	K	N
3	24.0	6.0	12.0	1.0	2.25
6	24.0	12.0	24.0	3.0	4.50
9	30.0	12.0	18.0	3.0	4.50
12	36.0	24.0	36.0	3.0	9.0
18	36.0	24.0	36.0	3.0	9.0
24	36.0	24.0	36.0	3.0	9.0
36	36.0	24.0	36.0	3.0	9.0

Dimensiones en pulgadas

CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS
Canaletas

Hay varios tipos de canaletas para medición de caudal, aparte de la Parshall, que incluso se comercializan.

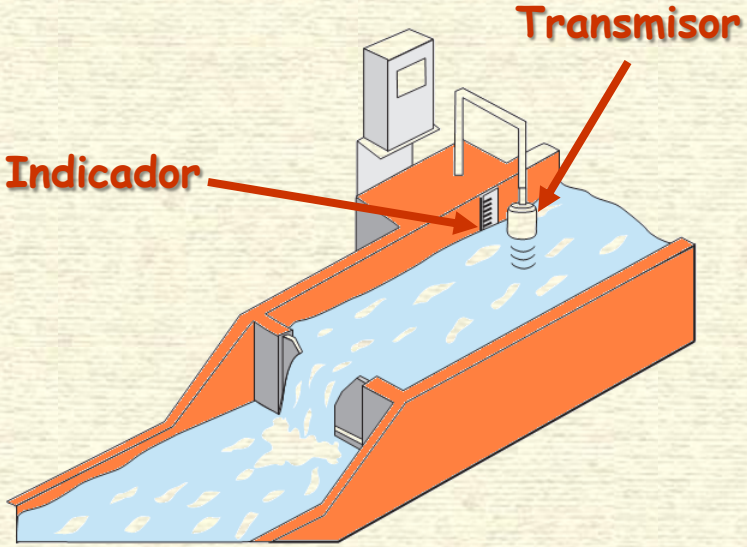


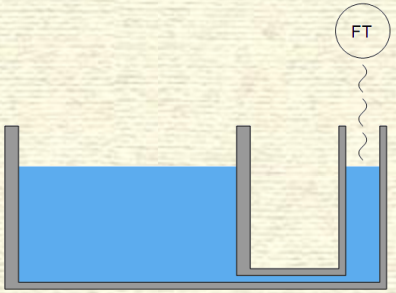


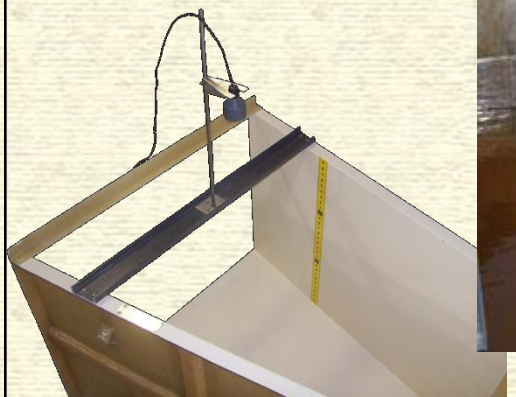
CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS
Canaletas y Vertederos – Medición del nivel

Las canaletas y vertederos son **elementos primarios**. Se requiere medir el nivel para inferir el caudal.

Si solo se necesita una **indicación local**, bastará con una **regla graduada** en el punto de medición o un **flotador**.







Si se necesita **transmisión** (y eventualmente con registro y alarma) lo más difundido en la actualidad son los **medidores ultrásonicos**.

Antes era usual transmisores de presión diferencial (directos o por burbujeo según la posición del elemento primario).

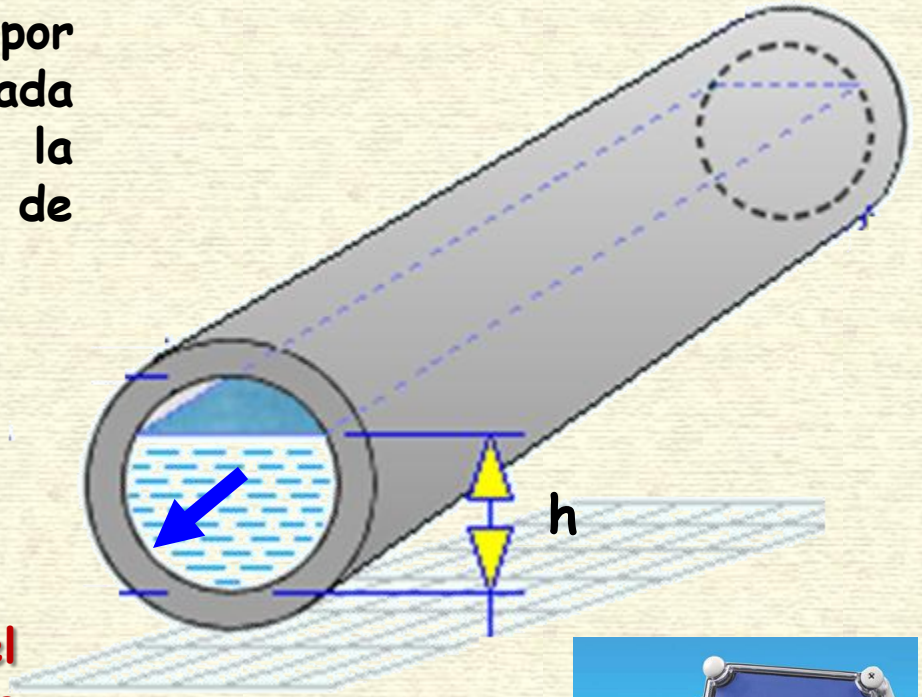
CAUDALÍMETROS PARA CONDUCTOS CERRADOS INUNDADOS PARCIALMENTE

Para medir el caudal que circula por una cañería que no está inundada completamente se requiere la velocidad (perfil) y la sección de pasaje.

$$Q = A\bar{v}$$

Depende de la altura

Depende del régimen y la altura



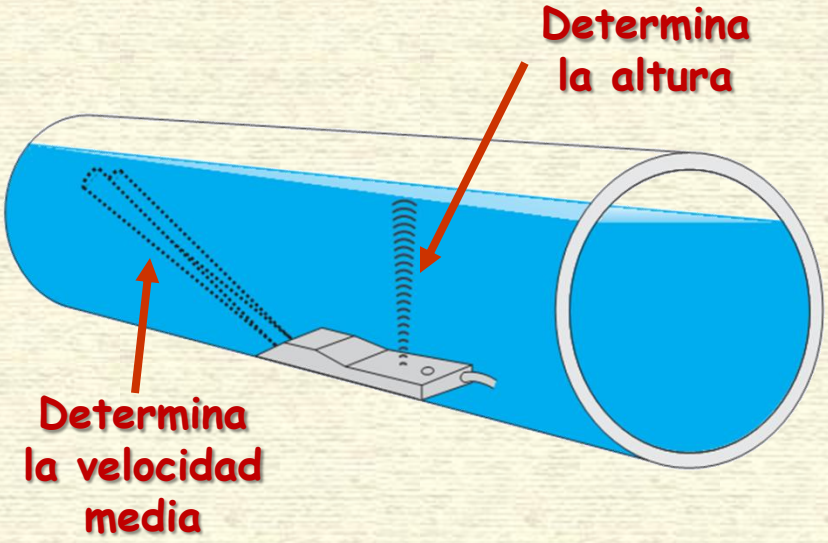
Los dispositivos que se comercializan, integran estas dos mediciones para inferir el caudal, utilizando uno o más sensores.

CAUDALÍMETROS PARA CONDUCTOS CERRADOS INUNDADOS PARCIALMENTE

Hay sensores con un solo elemento sensible que utiliza **ultrasonido (efecto Doppler)**. El transductor transmite pulsos en el medio a medir.

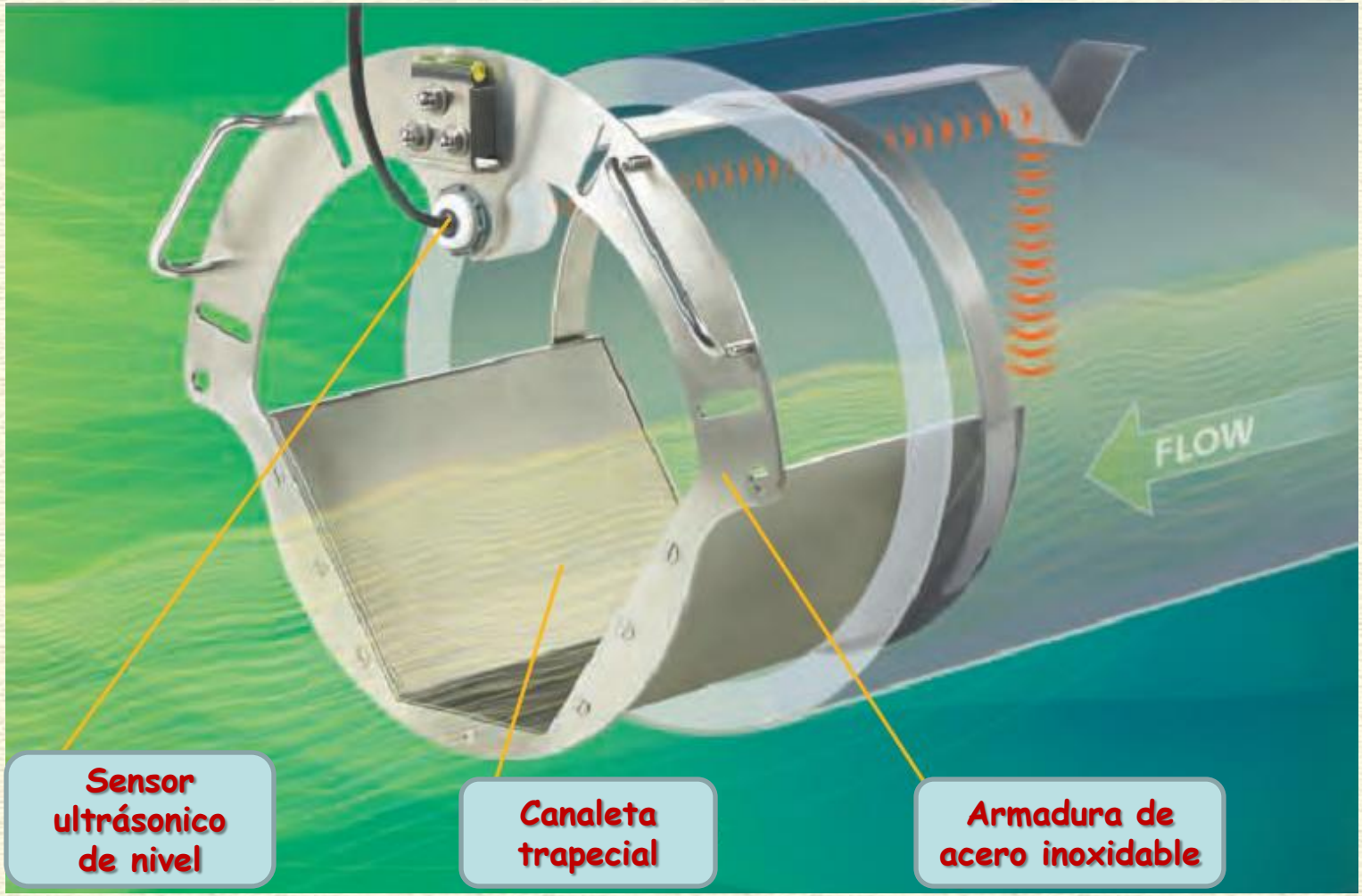
Las partículas o burbujas del medio reflejarán estos pulsos. Dicho sensor cambia al modo de recepción poco después de haber enviado un pulso y recibe el eco del ultrasonido como una característica del perfil de velocidades. El escaneo permite determinar la velocidad media.

El mismo dispositivo, envía ultrasonido en sentido vertical para calcular con el eco la altura de líquido. Mediante operación interna se infiere caudal.

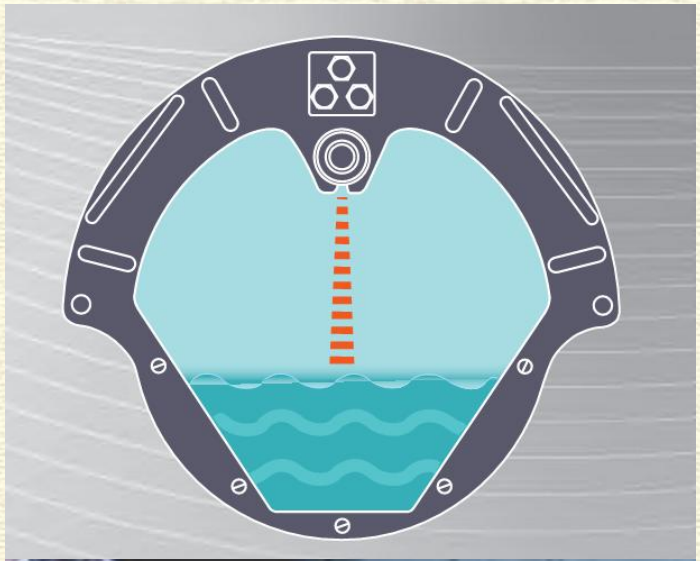


CAUDALÍMETROS PARA CONDUCTOS CERRADOS INUNDADOS PARCIALMENTE

Hay dispositivos que montan en la cañería una canaleta y mediante ultrasonido infieren caudal midiendo altura del líquido



CAUDALÍMETROS PARA CONDUCTOS CERRADOS INUNDADOS PARCIALMENTE

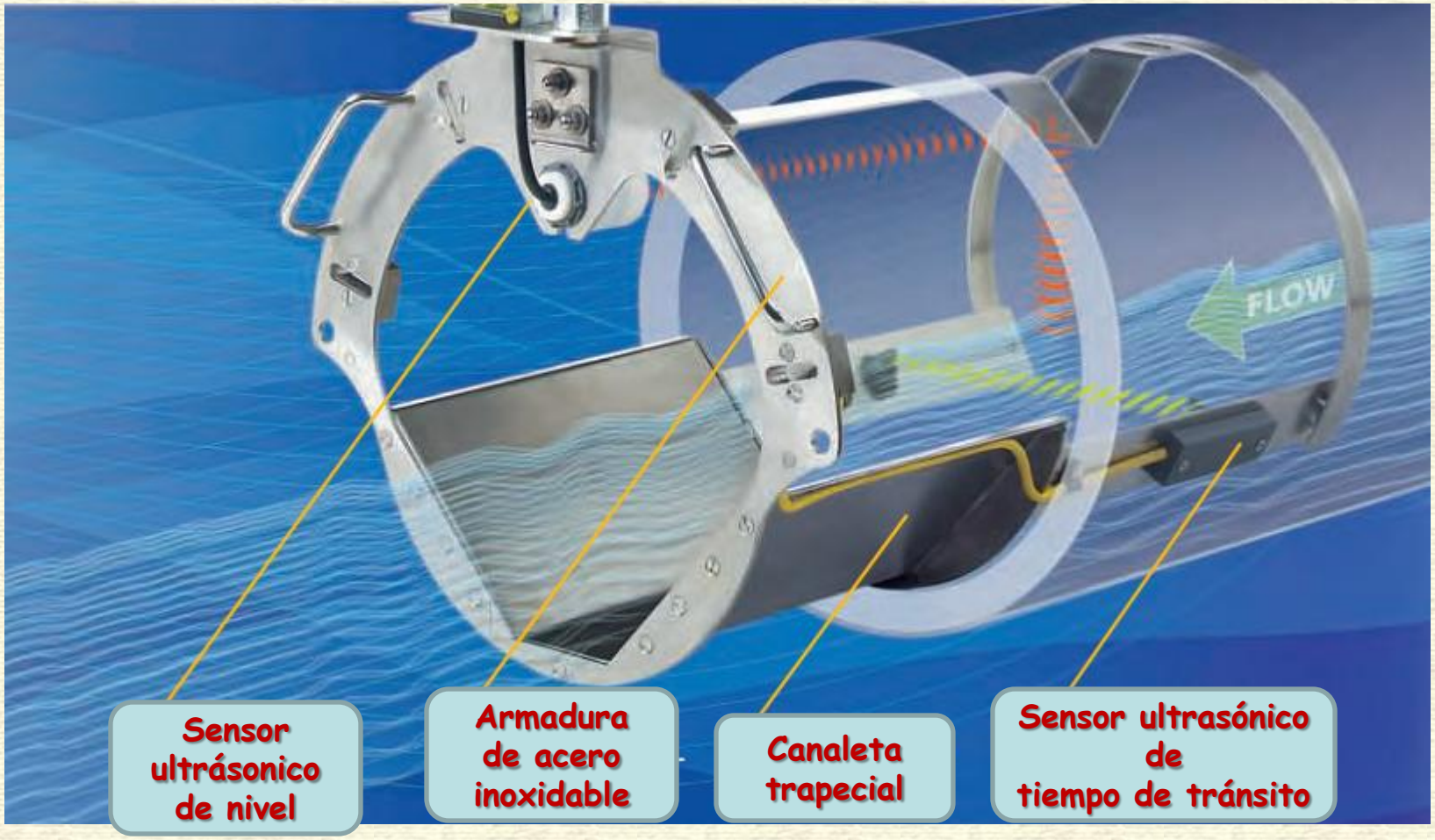


CARACTERÍSTICAS

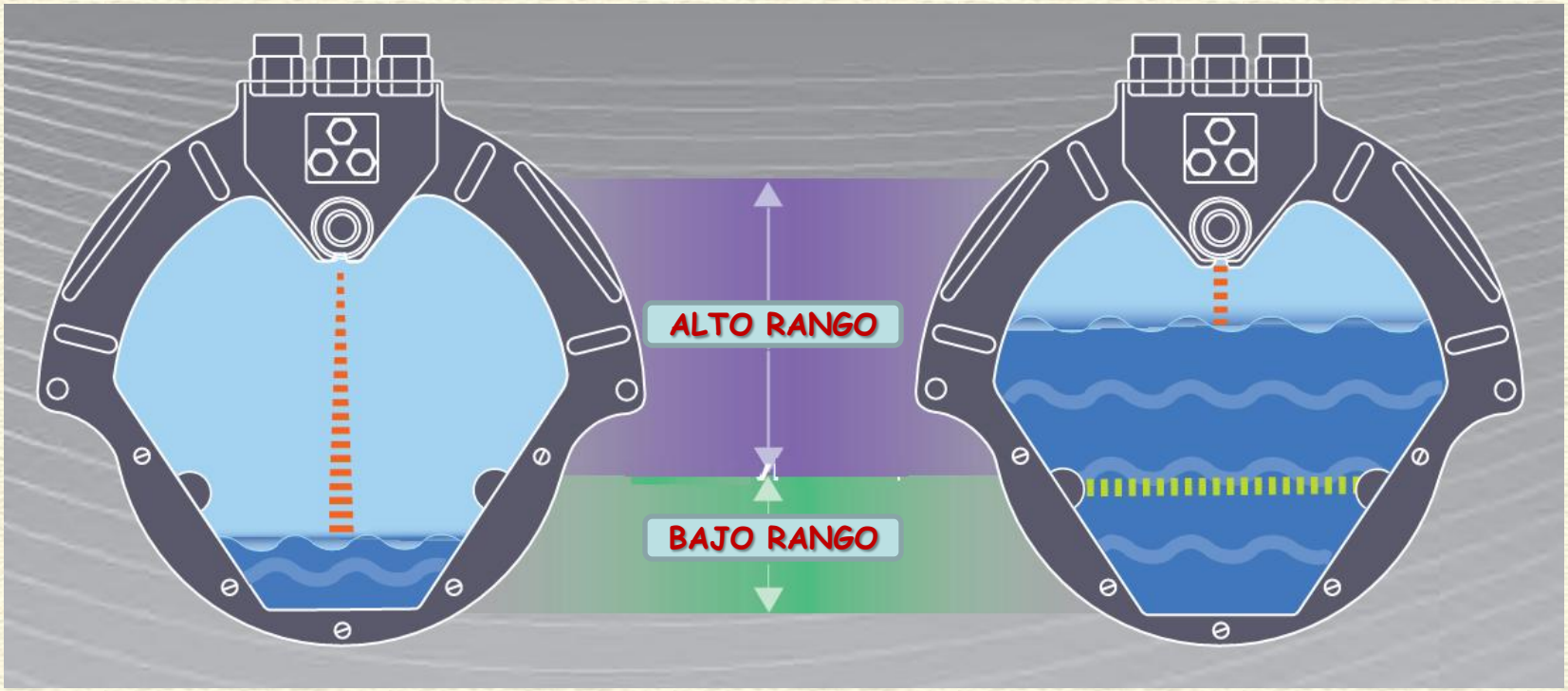
- Alta **Rangeabilidad**: hasta 60:1
- Evita acumulación de sedimentos
- No posee partes móviles **(bajo mantenimiento)**
- Moderada **exactitud** (típicamente 3% a 5% R).
- Disponibles para **diámetros** entre 4 y 24 plg
- **Se adaptan a la estructura existente**.
- Permite indicación, transmisión y salidas de alarmas e interruptores

CAUDALÍMETROS PARA CONDUCTOS CERRADOS INUNDADOS PARCIALMENTE

Cuando la altura del líquido en el conducto puede cambiar en un rango amplio, se recurre a una segunda medición por ultrasonido.



CAUDALÍMETROS PARA CONDUCTOS CERRADOS INUNDADOS PARCIALMENTE



BAJO RANGO

Por debajo de 1/3 de la cañería, Se mide nivel por ultrasonido en la canaleta trapecial.

ALTO RANGO

Por encima de 1/3 de la cañería, Se mide nivel por ultrasonido y se determina velocidad con sensores de tiempo de tránsito.

CAUDALÍMETROS PARA CONDUCTOS CERRADOS INUNDADOS PARCIALMENTE

BAJO RANGO

Rangeabilidad: hasta 60:1

Exactitud (típica 3% a 5% R)

ALTO RANGO

Rangeabilidad: hasta 60:1

Exactitud (típica 1% a 2% R)

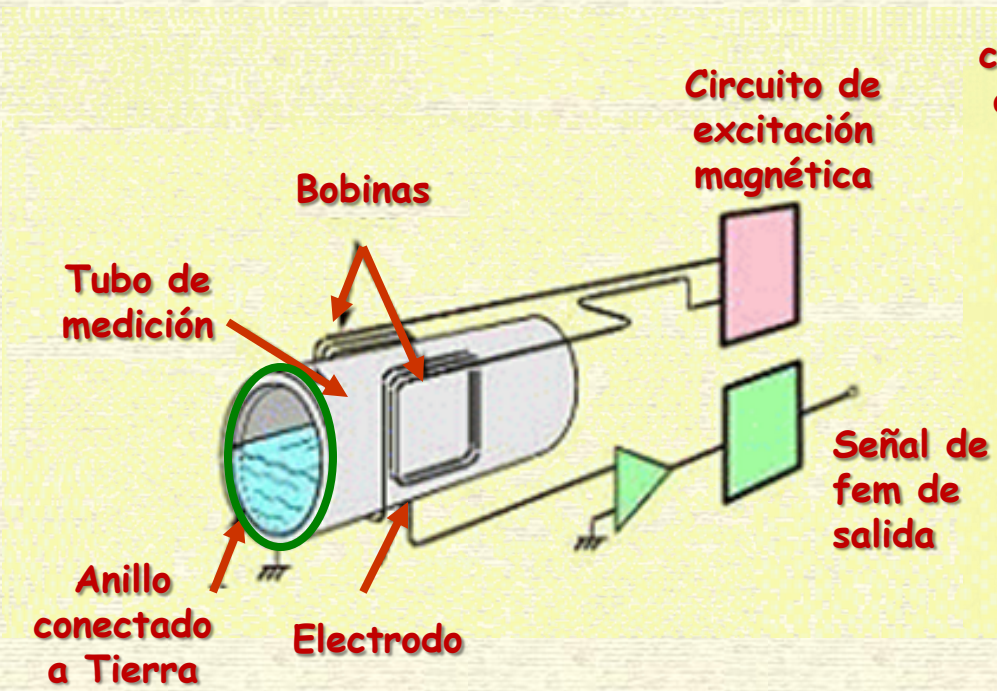
Diámetros: 4 a 24 plg

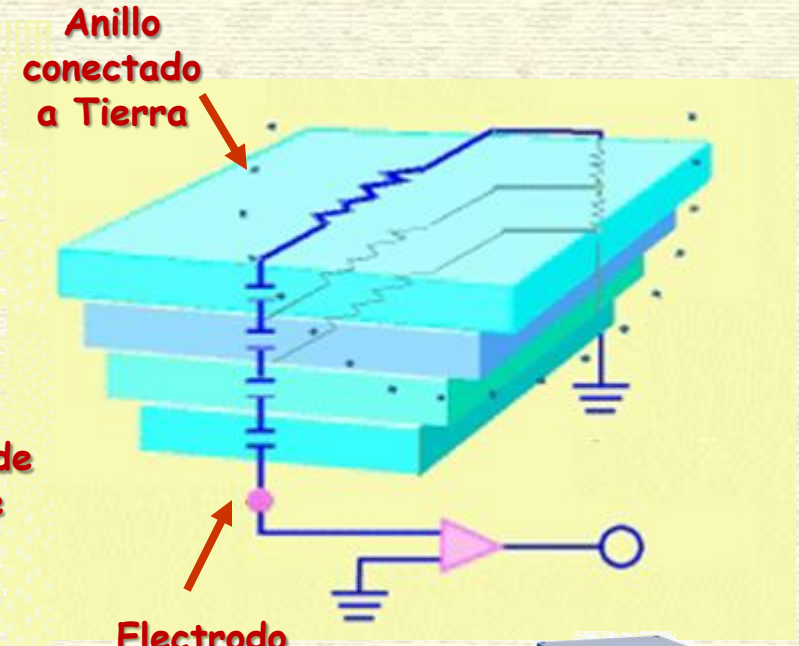
Se adaptan a la estructura existente.

Puede trabajar con cañería llena

CAUDALÍMETROS PARA CONDUCTOS CERRADOS INUNDADOS PARCIALMENTE

Hay dispositivos **electromagnéticos** que sirven para medir flujo en cañerías no completamente llenas. El principio es similar.





Diámetros de 8 a 64 plg
Medida cañerías llenas entre 10 y 100 %
Exactitud: 1% R
Condutividad mínima del liquido: 300 µS/cm

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS

La variedad y cantidad de proveedores hace que la selección sea cada vez más compeja. La elección deberá satisfacer los **requerimientos** de la **aplicación**, **performance** y **costo**.

BSi British Standards

La norma británica **BS-7405** empleando más de 100 diseños con más de 200 proveedores proporciona una metodología para la selección de caudalímetros.

La norma BS-7405 empleó el principio de funcionamiento para clasificar los distintos tipos de medidores que conformaron la estructura de la norma:

GRUPO	DESCRIPCIÓN
1	Convencionales de presión diferencial
2	Otros tipos de presión diferencial
3	De desplazamiento positivo
4	Inferenciales
5	Oscilatorios para fluidos
6	Electromagnéticos
7	Ultrasónicos
8	Másicos directos e indirectos
9	Térmicos
10	Otros para fluidos en ductos cerrados
11	Para sólidos
12	De canal abierto

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS
Norma BS-7405

Requerimientos de la aplicación

1

Las necesidades de la aplicación constituyen la primera restricción a examinar. Para descartar las alternativas no satisfactorias se consideran: diámetros, propiedades del fluido, restricciones de la instalación y limitaciones ambientales.

Requerimientos de performance

2

Los requerimientos de performance reflejan la calidad de la medición y las necesidades para el control del sistema. Se puede consultar la Tablas de fabricantes para descartar los elementos primarios que no cumplan con las exigencias.

Requerimientos de costo

3

El costo de compra e instalación (inversión) son fáciles de determinar. Los costos de mantenimiento y operacionales son más difíciles de definir y pueden tener mucha influencia

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS
Norma BS-7405

Requerimientos de la aplicación

1

Las necesidades de la aplicación constituyen la primera restricción a examinar. Para descartar las alternativas no satisfactorias se consideran: diámetros, propiedades del fluido, restricciones de la instalación y limitaciones ambientales.

- ¿Qué fluido se maneja? Gas, vapor, liquido, suspensión, pasta.
- ¿Fluido limpio o sucio? ¿Mezcla de fluidos?
- Condiciones de flujo (presión, temperatura, régimen).
- Restricciones impuestas por la instalación (diámetro, tramos rectos, dirección del flujo).
- Restricciones de las condiciones ambientales: temperatura, atmósfera inflamable, efecto de campos electromagnéticos.

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS Norma BS-7405

1

Requerimientos de la aplicación

Tabla II: Grandes áreas de Aplicación

Grupo	Tipo	APLICACIONES																	
		Líquidos (1)								Gases (2)					Otros (3)				
		A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T
1	Orificio	■	?	■	■	■	■	■		■	?	■	■	■	?	■	?	?	?
	Venturi	■		■	■	■	■			■	?		?	?	?	■	?	?	?
	Boquilla	■		■	■	■	■			■	■	?	?	■	?	■	?	?	?
2	Area variable	■	■			#	?		■	■	■							?	
	De blanco (Target)	■				#				■				■	?	■	?		
	Pitot Promediante	■		■	■	■	?	■		■		■	■	■		■	?	?	?
	Boquilla sónica									■	■	?	?						
3	Paleta deslizante	■		#			■		■							?			
	Ruedas ovaladas	■	■	#		#	■		■							?		■	
	Pistón giratorio	■	?			#	■		■							?		#	
	Diafragma para gases									■	■								
	Giratorio de gas									■	■								
4	Turbina	■		■	#	■	?	■	■	■		■				?	?	#	
	Pelton	■	■			■		■		?	?					?		?	
	Medidor mecánico	■													#	?			
	Turbina de inserción	■		■	■	■		■		■		■	■	?		?	?		
5	Vórtex	■				■		■	■	■		?	■	■		?			
	Tipo Coanda	■								■									
	Vórtex de inserción	■		■	■	?		?	?	■		■	?	■		■		?	?
6	Electromagnético	■	■	■	■	#	?		■						■	■	?	■	
	Electromagnético de inserción	■		■	■	?			■						?	■	?	■	
7	Doppler	■		?	?	#			?						■	■	?	?	
	Tiempo de Tránsito	■	?	■	■	#	?	#	■	#					?	?		#	#
8	Coriolis	■				#	■		■	?					?	?		#	
	Rotor de torsión	■																	
9	Anemómetro	■		?	?	#				■									
	De masa térmica		#							■	■								
10	Trazador	■	#	■	■	■	■	■		#		#	■	■		?	■	#	#
	Láser	■		?	?														

■ Adecuado, por lo general aplicable.
? Merece considerarse, algunas veces aplicable.
Merece considerarse, disponibilidad limitada o caro.
El espacio en blanco indica no adecuado o no aplicable.

(1) Aplicaciones para líquidos

A. Líquidos en general (< 50 cP)
B. Flujos reducidos de líquidos (< 2 L/min)
C. Grandes flujos de líquido (>1000 m^3/hora)
D. Grandes tuberías con agua (> 500 mm de diámetro)
E. Líquidos calientes (> 200 °C)
F. Líquidos viscosos (> 50 cP)
G. Líquidos criogénicos
H. Líquidos sanitarios

(2) Aplicaciones con gases

J. Gases en general
K. Flujos reducidos de gas (< 150 m^3/hora)
L. Grandes flujos de gases (> 5000 m^3/hora)
M. Gases calientes (> 200 °C)
N. Vapor

(3) Otras aplicaciones

P. Suspensiones y flujos de partículas
Q. Mezclas líquido-líquido
R. Mezclas líquido-gas
S. Líquidos corrosivos
T. Gases corrosivos

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS Norma BS-7405

1

Requerimientos de la aplicación

Table 1: Flowmeter Evaluation Table

FLOWMETER	PIPE SIZE, in. (mm)	STEAM	GASES (VAPORS) CLEAN	GASES (VAPORS) DIRTY	GASES (VAPORS) PRESS HIGH	GASES (VAPORS) PRESS LOW	LIQUIDS CLEAN	LIQUIDS VISCOUS HIGH	LIQUIDS VISCOUS LOW	LIQUIDS DIRTY	LIQUIDS CORROSIVE	LIQUIDS VERY CORROSIVE	LIQUIDS SLURRIES FIBROUS	LIQUIDS SLURRIES ABRASIVE	REVERSE FLOW	PULSATING FLOW	HIGH TEMPERATURE	CRYOGENIC	SEMI-FILLED PIPES	NON-NEWTONIANS	OPEN CHANNEL	TYPICAL Reynolds number ‡ or viscosity
SQUARE ROOT SCALE: MAXIMUM SINGLE RANGE 4:1 (Typical)**																						
Orifice																						
Square-Edged	>1.5 (40)	✓	✓	X	✓	✓	✓	X	?	X	?	X	X	X	SD	?	✓	✓	X	?	X	R_D > 10,000
Honed Meter Run	0.5-1.5 (12-40)	✓	✓	X	✓	✓	✓	?	?	X	?	X	X	X	SD	?	✓	✓	X	?	X	R_D > 10,000
Integrated	<0.5 (12)	?	✓	X	✓	✓	✓	X	?	X	?	?	X	X	SD	?	?	X	X	?	X	R_D > 10,000
Segmental Wedge	<12 (300)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	✓	?	?	X	?	?	SD	?	✓	✓	X	?	X	R_D > 500
Eccentric	>2 (50)	?	?	✓	✓	✓	?	X	?	?	?	X	?	X	SD	?	✓	✓	X	?	X	R_D > 10,000
Segmental	>4 (100)	?	?	✓	✓	✓	?	X	?	?	?	X	?	X	SD	?	✓	✓	X	?	X	R_D > 10,000
V-Cone	0.5-72 (12-1800)	✓	✓	?	✓	✓	✓	?	✓	?	?	X	?	?	X	?	?	?	X	?	X	R_D : 8,000-5,000,000
Target***	<0.5(12)	?	✓	✓	✓	✓	✓	?	✓	✓	?	X	X	X	?	X	?	?	X	?	X	R_D > 100
Venturi	>2 (50)	✓	✓	?	✓	✓	✓	?	✓	?	?	X	✓	?	X	?	?	?	X	?	X	R_D > 75,000L
Flow Nozzle	>2 (50)	?	✓	?	✓	✓	✓	X	?	?	?	X	X	X	X	?	?	?	X	?	X	R_D > 50,000L
Low Loss Venturi	>3 (75)	✓	✓	X	✓	✓	✓	X	?	X	✓	X	X	X	X	?	?	?	X	?	X	R_D > 12,800L
Pitot	>3 (75)	X	✓	X	✓	✓	✓	X	?	X	?	X	X	X	X	X	?	?	X	X	X	R_D > 100,000L
Averaging Pitot	>1 (25)	✓	✓	SD	✓	✓	✓	X	?	SD	?	X	X	X	SD	X	?	?	X	X	X	R_D > 40,000L
Elbow	>2 (50)	X	✓	?	✓	✓	✓	X	?	?	?	X	X	X	✓	X	?	?	X	?	X	R_D > 10,000L
Laminar	0.25-16.6 (6-400)	?	✓	X	✓	✓	✓	✓	?	X	?	X	X	X	X	✓	X	X	X	X	X	R_D < 500
LINEAR SCALE TYPICAL RANGE 10:1 (Or better)																						
Magnetic*	0.1-72 (2.5-1800)	X	X	X	X	X	✓	?	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	X	?	?	?	R_D > 4,500
Positive Displacement																						
Gas	<12 (300)	X	✓	X	?	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
Liquid	<12 (300)	X	X	X	X	X	✓	✓	?	X	?	X	X	X	X	X	?	X	X	X	X	No R_D limit ± 8,000 cS
Turbine																						
Gas	0.25-24 (6-600)	SD	✓	X	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	SD	SD	?	?	X	X	?	-
Liquid	0.25-24 (6-600)	X	X	X	X	X	✓	X	?	X	?	X	X	SD	SD	SD	?	?	X	X	?	R_D > 5,000, ±15 cS
Ultrasonic																						
Time of Flight	>0.5 (12)	X	SD	SD	SD	SD	✓	?	?	X	✓	✓	?	?	✓	✓	X	?	X	X	?	R_D > 10,000
Doppler	>0.5 (12)	X	X	X	X	X	X	?	?	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X	?	X	R_D > 4,000
Variable-Area (Rotameter)	≤3 (75)	?	✓	X	X	✓	✓	X	?	X	?	?	X	X	X	?	?	?	X	X	X	No R_D limit, < 100 cS
Vortex Shedding	1.5-16 (40-400)	✓	✓	?	✓	✓	✓	X	?	?	?	X	X	X	X	X	?	?	X	X	X	R_D > 10,000, < 30 cP
Vortex Precession (Swirl)	<16 (400)	✓	✓	?	✓	✓	✓	X	?	X	?	X	X	X	X	X	?	X	X	X	X	R_D > 10,000, < 5 cP
Fluidic Oscillation (Coanda)	>1.5 (40)	X	X	X	X	X	✓	X	X	?	?	X	X	X	X	?	?	?	X	X	X	R_D > 2,000, < 80 cS
Mass																						
Coriolis	0.25-6 (6-150)	?	?	?	✓	✓	✓	✓	✓	✓	?	?	?	✓	?	?	?	?	X	✓	X	No R_D limit
Thermal Probe	<72 (1800)	X	✓	?	✓	✓	✓	?	✓	✓	?	?	?	?	X	?	?	X	X	?	X	No R_D limit
Solids Flowmeter	<24 (600)	X	X	X	X	X	X	SD	X	?	X	X	SD	SD	X	SD	SD	X	✓	X	X	-
Correlation																						
Capacitance	<8 (200)	X	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	?	?	X	?	?	X	No data available
Ultrasonic	>0.5 (12)	X	X	X	X	X	X	?	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	?	X	X	X	?	X	No data available

cP = centi Poise
cS = centi Stokes
SD = Some designs
? = Normally applicable (worth consideration)
✓ = Designed for this application (generally suitable)
X = Not applicable
URV = Upper Range Value
‡ A
R

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS Norma BS-7405

Requerimientos de la aplicación 1

Application

KEY

- ● Best for this application
- ◑ OK with some exceptions
- ⦶ OK for some applications but check first
- ✕ Do not use in this service

Technology	Vapor or Gas	Clean Liquids	Corrosive Liquids	Dirty Liquids	Viscous Liquids	Slurries	Hi-Temp Service	Semi-Filled Pipes	Open Channel
Magnetic	✕	●	●	●	⦶	●	◑	◑	◑
Thermal Mass	●	◑	◑	◑	◑	◑	◑	✕	✕
Ultrasonic - Transit Time	◑	●	◑	◑	◑	✕	✕	✕	◑
Ultrasonic - Doppler	✕	✕	◑	●	◑	◑	✕	✕	✕
Vortex Shedding	●	●	⦶	⦶	◑	✕	◑	✕	✕
Turbine	●	●	◑	◑	⦶	✕	⦶	✕	◑
Variable Area	●	●	⦶	⦶	⦶	✕	⦶	✕	✕
Postive Displacement	●	●	◑	✕	●	✕	◑	✕	✕
Differential Pressure	●	●	◑	◑	◑	◑	◑	✕	✕

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS Norma BS-7405

Requerimientos de la aplicación 1

Technology	Fluid Type: Clean Liquid	Dirty Liquid	Viscous Liquid	Slurry	Gas	Steam	Pressure Loss	Max Temp F	Max Press psi	Pipe Diam's Req'd	Sizes inches
Magnetic	Intended Service	Intended Service	Intended Service	Intended Service	Not Applicable	Not Applicable	None	450	750	10	.1 to 96
Coriolis	Intended Service	Intended Service	Possibly Applicable	Possibly Applicable	Intended Service	Not Applicable	Medium	500	1500	None	.1 to 8
Ultrasonic	Intended Service	Intended Service	Possibly Applicable	Possibly Applicable	Intended Service	Possibly Applicable	None	350	500 or pipe rat'g	5 to 30	1 +
Vortex	Intended Service	Possibly Applicable	Possibly Applicable	Not Applicable	Intended Service	Intended Service	Low	450	1500	10 to 20	2 to 12
Turbine	Intended Service	Possibly Applicable	Possibly Applicable	Not Applicable	Intended Service	Not Applicable	Low	500	3000	10 to 20	.25 to 24
Diff. Pressure	Intended Service	Possibly Applicable	Possibly Applicable	Possibly Applicable	Intended Service	Intended Service	Medium	750	3000	10 to 30	Any
Pos Displacement	Intended Service	Possibly Applicable	Intended Service	Not Applicable	Intended Service	Not Applicable	High	450	1500	None	.25 to 16
Variable Area	Intended Service	Possibly Applicable	Possibly Applicable	Not Applicable	Intended Service	Possibly Applicable	Low	600	1500	None	1/8 to 4
Open Channel	Intended Service	Possibly Applicable	Possibly Applicable	Possibly Applicable	Not Applicable	Not Applicable	Low	200	N/A	None to 20	2 +
Thermal	Possibly Applicable	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable	Intended Service	Not Applicable	Low	500	1500	None to 30	1/8 +

Intended Service
Possibly Applicable
Not Applicable

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS Norma BS-7405

Requerimientos de la aplicación 1

Flowmeter	Material Phase: Clean Liquid	Viscous Liquid	Slurry	Gas	Solid	Turndown	Pressure Loss	Upstream Straight Pipe Dia (Guide)	Downstream Straight Pipe Dia (Guide)	Typical Accruacy (% FSC)	Relative Cost	Notes
Coriolis	Y	Y	?	Y	?	20:1	H	None	None	0.5	M	U' Tube are better than 'S' tube models but are however more expensive.
Dall Tube	Y	?	?	Y	N	3:1	M-H	15	5	1	H	Similar to venturi but cheaper to manufacture.
Magnetic	Y	Y	Y	N	N	10:1	N	5	3	2	H	Must be conductive
Orifice Plate	Y	?	?	Y	N	3:1	H	20	5	1 to 2	L	Limitation of accuracy is due to differential pressure sensing element.
Pitot Tube	Y	N	?	Y	N	3:1	M	30	5	1 to 5	L	Pitot tube only provides point measurement of fluid flow in pipe.
Positive Displacement	Y	Y	N	Y	N	10:1	H	None	None	1		On dirty duty filter required. Turndown may be higher on Gas service.
Solids Flowmeter	N	N	N	N	Y	20:1	NA	NA	NA	2	H	
Target Meter	Y	Y	?	Y	N	4:1	H	20	5	1 to 5	L	
Thermal Mass Flow	Y	?	?	Y	N	20:1	M-H	5	3	1	M	On dirty duty filter required.
Turbine	Y	?	N	?	N	10:1	H	15	5	0.25		Maitnenance costs high due to need to overhaul.
Ultrasonic	Y	?	Y	?	?	10:1	N	15	5	2 to 3	M	Cost depends on size? Clamp on meters difficult to get good / clean pipe connection.
Variable Area	Y	?	?	Y	N	5:1	M	None	None	5 to 10	L	Generally these instruments provide local indication only.
Venturi	Y	?	?	Y	N	3:1	M	15	5	0.5 to 1	H	Limitation of accuracy is due to differential pressure sensing element.
Vortex	Y	N	N	Y	N	10:1	H	20	5	1	M	
Wier / Flumes	Y	?	?	N	N	100:1	M	See Link	See Link	2-5%	H	

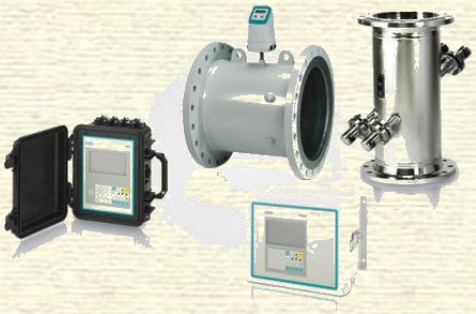
Y-Yes
N-No
?-Sometimes

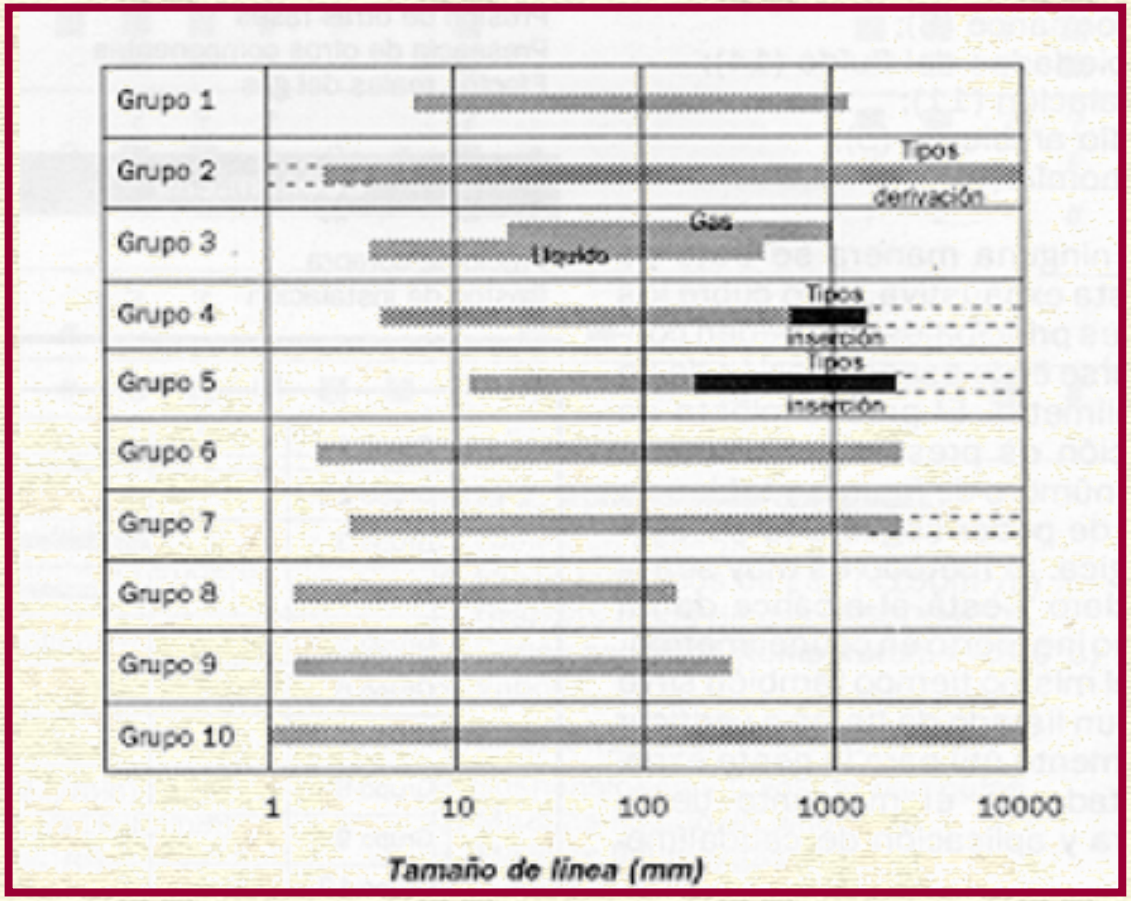
H-High
M-Medium
L-Low
N-None

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS
Norma BS-7405

1

Requerimientos de la aplicación





SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS Norma BS-7405

Requerimientos de la aplicación

1

Tabla III: Restricciones impuestas por las propiedades del fluido

Grupo	Tipo	Presión máxima (Bar)	Rango de Temp. (°C)	N° de Re mínimo	Gas (G) o Líquido (L)	Dos o más fases
1	Orificio	400	< + 650	$3\ 10^4$	L G	P
	Venturi	400	< + 650	10^5	L G	P
	Boquilla	400	< + 650	$2\ 10^4$	L G	N
2	Area variable	700	-80 a +400	Sin datos	L G	N
	De blanco (Target)	100	-40 a +120	$3\ 10^4$	L G	S
	Pitot Promediante	400	< +540	10^4	L G	N
	Boquilla sónica	400	< +650	$2.5\ 10^4$	G	N
3	Paleta deslizante	100	-30 a +200	10^3	L	N
	Ruedas ovaladas	100	-15 a +290	10^2	L	N
	Pistón giratorio	170	-40 a +170	10^2	L	N
	Diafragma para gases	200	-30 a +200	$2.5\ 10^2$	G	N
	Giratorio de gas	100	-40 a +150	10^3	G	N
4	Turbina	3500	-268 a +530	10^4	L G	N
	Pelton	3500	-225 a +530	10^4	L G	N
	Medidor mecánico	600	-25 a +200	10^4	L G	N
	Turbina de inserción	70	-50 a +430	10^4	L G	N
5	Vórtex	260	-200 a +430	$2\ 10^4$	L G	P
	Tipo Coanda	100	-40 a +110	Sin datos	L G	N
	Vórtex de inserción	70	-30 a +150	$5\ 10^3$	L G	N
6	Electromagnético	300	-60 a +200	Sin límites	L	S / P
	Electromagnético de inserción	20	+5 a +25	Sin datos	L	N
7	Doppler	*	-20 a +110	$5\ 10^3$	L	S
	Tiempo de Tránsito	200	-200 a +250	$5\ 10^3$	L G	N / P
8	Coriolis	390	-240 a +400	10^2	L	P
	Rotor de torsión	400	-240 a +350	10^4	L	N
9	Anemómetro	20	-200 A + 400	Sin datos	L G	N
	De masa térmica	300	0 a +100	Sin datos	L G	N
10	Trazador	Sin datos	Sin datos	Sin límites	L G	P
	Láser	*	Sin datos	Sin límites	L G	N

S. Adecuado P. Posible N. No adecuado * Depende de la pared de la cañería

1

Requerimientos de la aplicación

Tabla IV: Restricciones impuestas por la instalación

Grupo	Tipo	Orientación	Dir.	Tramos aguas arriba	Tramos aguas abajo	Filtro	Diámetros de cañería (mm)
1	Orificio	H,VU,VD,I	U,B	5D/80D	2D/8D	N	6 a 2600
	Venturi	H,VU,VD,I	U	0.5D/29.5D	4D	N	> 6
	Boquilla	H,VU,VD,I	U	5D/80D			
2	Area variable	VU	U	0D	0D	P	2 a 600
	De blanco (Target)	H,VU,VD,I	U	6D/20D	3.5D/4.5D	N	12 a 100
	Pitot Promediante	H,VU,VD,I	U,B	2D/25D	2D/4D	P	> 25
	Boquilla sónica	H,VU,VD,I	U	> 5D	> 0D	N	≥ 5
3	Paleta deslizante	H,VU,VD,I	U	0D	0D	R	25 a 250
	Ruedas ovaladas	H	U	0D	0D	R	4 a 400
	Pistón giratorio	H,VU,VD,I	U	0D	0D	R	6 a 1000
	Diafragma para gases	H	U	0D	0D	N	20 a 100
	Giratorio de gas	H,VU,VD,I	U.B	0D/10D	0D/5D	R	50 a 400
4	Turbina	H,VU,VD,I	U,B	5D/20D	3D/10D	P	5 a 600
	Pelton	H,VU,VD,I	U	5D	5D	R	4 a 20
	Medidor mecánico	H,VU,VD,I	U	3D/10D	1D/5D	R	12 a 1800
	Turbina de inserción	H,VU,VD,I	U,B	10D/80D	5D/10D	P	> 75
5	Vórtex	H,VU,VD,I	U	1D/40D	5D	N	12 a 200
	Tipo Coanda	H,VU,VD,I	U	3D	1D	N	12 a 400
	Vórtex de inserción	H,VU,VD,I	U	20D	5D	N	> 200
6	Electromagnético	H,VU,VD,I	U,B	0D/10D	0D/5D	N	2 a 3000
	Electromagnético de inserción	H,VU,VD,I	U,B	25D	5D	N	> 100
7	Doppler	H,VU,VD,I	U,B	10D	5D	N	> 25
	Tiempo de Tránsito	H,VU,VD,I	U,B	0D/50D	2D/5D	N	> 4
8	Coriolis	H,VU,VD,I	U	0D	0D	N	6 a 150
	Rotor de torsión	H,VU,VD,I	U	20D	5D	N	6 a 150
9	Anemómetro	H,VU,VD,I	U,B	10D/40D	Sin datos	R	> 25
	De masa térmica	H,VU,VD,I	U	Sin datos	Sin datos	R	2 a 300
10	Trazador	H,VU,VD,I	U,B	#	#	N	Ilimitado
	Láser	H,VU,VD,I	U,B	0D	0D	P	

H. Flujo horizontal
VU. Flujo vertical hacia arriba
VD. Flujo vertical hacia abajo
I. Flujo inclinado
Longitud de mezcla

U. Flujo unidireccional
B Flujo bidireccional
R. Recomendable
N. No necesario
P. Posible

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS Norma BS-7405

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS Norma BS-7405

Requerimientos de la aplicación

1

Tabla V: Restricciones impuestas por las condiciones ambientales

Grupo	Tipo	Efecto de la Temperatura	Versión Intrínsec. segura	Versión a prueba de agua y explosión	Efecto de campos elec. y radio frec. inducidos (1)
1	Orificio	4	#	#	1/2
	Venturi	3	#	#	1/2
	Boquilla	3	#	#	1/2
2	Area variable	3	A	A	1
	De blanco (Target)	3	NA	A	3
	Pitot Promediante	3	#	#	2
	Boquilla sónica	3	A	NA	1/2
3	Paleta deslizante	4	A	A	1/3
	Ruedas ovaladas	4	A	A	1/3
	Pistón giratorio	4	A	A	1/3
	Diafragma para gases	4	A	NA	1/3
	Giratorio de gas	4	A	NA	1/3
4	Turbina	3	A	A	4
	Pelton	3	A	A	4
	Medidor mecánico	3	A	A	1
	Turbina de inserción	3	A	A	4
5	Vórtex	2	A	A	4
	Tipo Coanda	2	A	A	3
	Vórtex de inserción	1	A	N	3
6	Electromagnético	1	A	A	3
	Electromagnético de inserción	1	A	N	3
7	Doppler	3/4	A	A	4
	Tiempo de Tránsito	3/4	NA	A	4
8	Coriolis	1	A	A/NA	4
	Rotor de torsión	2	Sin datos	Sin datos	4
9	Anemómetro	3	NA	NA	2
	De masa térmica	4	A	A	2
10	Trazador	1	N	N	1
	Láser	1	NA	NA	4

R. Recomendable
N. No necesario
A. Disponible

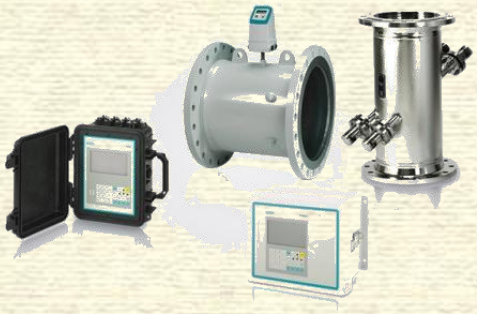
NA. No disponible
Depende de la medición
(1) 1 es reducido, 5 es alto

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS
Norma BS-7405

Requerimientos de performance

2

Los requerimientos de performance reflejan la calidad de la medición y las necesidades para el control del sistema. Se puede consultar la Tablas de fabricantes para descartar los elementos primarios que no cumplan con las exigencias.



La propia norma ofrece una tabla, algo desactualizada al día de hoy, que puede complementarse con tablas de fabricantes para poder determinar qué dispositivos cubren los requisitos de performance

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS
Norma BS-7405

2 Requerimientos de performance

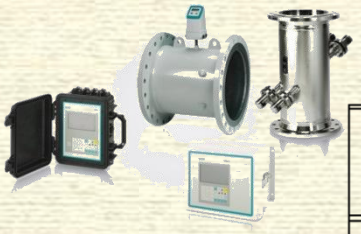


Tabla VI: Factores de performance que inciden en la selección de caudalímetros

Grupo	Tipo	Linealidad	Repetibi-lidad	Rangea-bility	Δp con caudal máx.[1]	Pará-metro med.	Tiempo de resp.
1	Orificio	#	#	3 o 4:1	3/4	R	#
	Venturi	#	#	3 o 4:1	2	R	#
	Boquilla	#	#	3 o 4:1	2/3	R	#
2	Area variable	±1% a ±5% FS	±0.5% a ±1% FS	10:1	3	R	Sin datos
	De blanco (Target)	NS	NS	3:1	3	R	NS
	Pitot Promediante	#	±0.05% a ±0.2% R	#	1/2	v_m	#
	Boquilla sónica	±0.25%	±0.1%	100:1	3/4	R	NS
3	Paleta deslizante	±0.1% a ±0.3% R	±0.01% a ±0.05% R	10 a 20:1	4/5	T	> 0.5 s
	Ruedas ovaladas	±0.25% R	±0.05% a ±0.1% R		4	T	> 0.5 s
	Pistón giratorio	±0.5% a ±1% R	±0.2% R	10 a 250:1	4/5	T	> 0.5 s
	Diafragma para gases	Sin datos	Sin datos	100:1	2	T	> 0.5 s
	Giratorio de gas	±1%	±0.2 %	25:1	2	T	> 0.5 s
4	Turbina	±0.15% a ±1% R	±0.02% a ±0.5% R	5 a 10:1	3	R	5 ms a 25 ms
	Pelton	±0.25% a ±0.5% R	±0.1% a ±0.25% R	4 a 10:1	4	R	5 ms a 25 ms
	Medidor mecánico	Sin datos	±1% FS	10 a 280:1	3	R	50 ms
	Turbina de inserción	±0.25% a ±5% R	±0.1% a ±2% R	10 a 40:1	1/2	v_p	5 ms a 25 ms

R Caudal
T Caudal volumétrico
v_m. Velocidad media
v_p. Velocidad puntual
%R Porcentaje de caudal
%FS porcentaje de plena escala
NS. No especificado
Depende de la medición de Δp dif.
[1] 1 es baja, 5 es alta

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS
Norma BS-7405

2 Requerimientos de performance

Tabla VI: Factores de performance que inciden en la selección de caudalímetros

Grupo	Tipo	Linealidad	Repetibi-lidad	Rangea-bility	Δp con caudal máx.[1]	Pará-metro med.	Tiempo de resp.
5	Vórtex	±1% R	±0.1% a ±1% R	4 a 40:1	3	R	0.5 s min.
	Tipo Coanda	< ±2% R	NS	10 a 30:1	3	R	NS
	Vórtex de inserción	±2%	±0.1% R	15 a 30:1	1	v_p	5 ms
6	Electromagnético	±0.5% a ±1% R	±0.1% R a ±0.2% FS	10 a 100:1	1	R	> 0.2 s
	Electromagnético de inserción	±2.5% a ±4% R	±0.1% R	10:1	1	v_p	NS
7	Doppler	Sin datos	±0.2% FS	5 a 25:1	1	v_m , R	
	Tiempo de Tránsito	±0.1%R a ±1%R	±0.2% R a ±1% FS	10 a 300:1	1	R	0.02 s a 120 s
8	Coriolis	NS	±0.1% a ±0.25% R	10 a 100:1	2/5	R	0.1 s a 3600 s
	Rotor de torsión	Sin datos	Sin datos	10 a 20:1	3/4	R	50 ms
9	Anemómetro	Sin datos	±0.2% FS	10 a 40:1	2	v_p	Sin datos
	De masa térmica	±0.5% a ±2% FS	±0.2% FS a ±1% R	10 a 500:1	2	R	0.12 s a 7 s
10	Trazador	Sin datos	Sin datos	hasta 1000:1	1	v_m	Sin datos
	Láser	Sin datos	±0.5% R	hasta 2500:1	1	v_p	Sin datos

R Caudal
T Caudal volumétrico
v_m. Velocidad media
v_p. Velocidad puntual
%R Porcentaje de caudal
%FS porcentaje de plena escala
NS. No especificado
Depende de la medición de Δp dif.
[1] 1 es baja, 5 es alta

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS
Norma BS-7405

2 Requerimientos de performance

Attribute	Variable-area	Coriolis	Gas mass-flow	Differential-Pressure	Turbine	Oval Gear
Clean gases	yes	yes	yes	yes	yes	—
Clean Liquids	yes	yes	—	yes	yes	yes
Viscous Liquids	yes (special calibration)	yes	—	no	yes (special calibration)	yes, >10 centistokes (cst)
Corrosive Liquids	yes	yes	—	no	yes	yes
Accuracy, ±	2-4% full scale	0.05-0.15% of reading	1.5% full scale	2-3% full-scale	0.25-1% of reading	0.1-0.5% of reading
Repeatability, ±	0.25% full scale	0.05-0.10% of reading	0.5% full scale	1% full-scale	0.1% of reading	0.1% of reading
Max pressure, psi	200 and up	900 and up	500 and up	100	5,000 and up	4,000 and up
Max temp., °F	250 and up	250 and up	150 and up	122	300 and up	175 and up
Pressure drop	medium	low	low	medium	medium	medium
Turndown ratio	10:1	100:1	50:1	20:1	10:1	25:1
Average cost*	$200-600	$2,500-5,000	$600-1,000	$500-800	$600-1,000	$600-1,200

*Cost values can vary quite a bit depending on process temperature and pressures, accuracy required, and approvals needed.

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS Norma BS-7405

2

Requerimientos de performance

Flow Meter	Recommended Service	Turndown	Typical Pressure Loss	Typical Accuracy FS = Full Scale	Required Upstream pipe, diameters	Effects from changing viscosity?
Turbine	Clean, viscous liquids	20 to 1	High	+/- 0.25% of rate	5 to 10	High
Positive Displacement	Clean, viscous liquids	10 to 1	High	+/- 0.5% of rate	None	High
Electromagnetic (Mag-Meter)	Clean, dirty, viscous, conductive liquids and slurries	40 to 1	None	+/- 0.5% of rate	5	None
Variable Area (VA, Rota-meter)	Clean, dirty, viscous liquids	10 to 1	Medium	+/- 1 to 10% FS	None	Medium
Thermal Mass Flow (TMF)	Clean dirty viscous liquids some slurries	10 to 1	Low	+/- 1% FS	None	None
Coriolis Mass Meter	Clean, dirty. viscous liquids, some slurries	10 to 1	Low	+/- 0.5% of rate	None	None
Orifice Plate	Clean, dirty, liquids some slurries	4 to 1	Some	+/- 2 to 4% FS	10 to 20	High
Pitot tube	Clean liquids	3 to 1	Very low	+/- 3 to 5% FS	20 to 30	Low
Ultrasonic (Doppler)	Dirty, viscous, liquids and slurries	10 to 1	None	+/- 5% FS	5 to 30	None
Ultrasonic (Transit Time)	Clean, viscous, liquids some dirty liquids (depending on brand)	40 to 1	None	+/- 1 to 3% FS	10	None
Venturi	Some slurries but clean, dirty and liquids with high viscosity	4 to 1	A little	+/- 1% FS	5 to 18	High
Vortex	Clean, dirty liquids	10 to 1	Medium	+/- 1% of rate	10 to 20	Medium

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS
Norma BS-7405

Requerimientos de costo 3

El costo de compra e instalación (inversión) son fáciles de determinar. Los costos de mantenimiento y operacionales son más difíciles de definir y pueden tener mucha influencia

Una vez descartados los dispositivos que no satisfacen los requerimientos de la aplicación y de performance, las alternativas restantes se las evalúa económicamente teniendo en cuenta la inversión inicial, los costos de mantenimiento y operacionales, la vida útil y la tasa de corte de la empresa.

La norma BS-7405 proporciona tablas indicativas.

Al final del proceso se debería obtener una lista con los tipos de medidores y un orden de preferencias.

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS Norma BS-7405

3 Requerimientos de costo

Tabla VI: Factores económicos que inciden en la selección de caudalímetros

Grupo	Tipo	Costo de Instalación	Costo de Calibración	Costo de Operación	Costo de Mantenim.	Costo de Repuestos
1	Orificio	2/4	1	3	2	1
	Venturi	4	1/4	2	3	3
	Boquilla	3	3	2	3	2
2	Area variable	1/3	2	2	1	1
	De blanco (Target)	3	3	2	3	3
	Pitot Promediante	2	3	2	2	2
	Boquilla sónica	2	1	3/4	2	1
3	Paleta deslizante	3	5	4	4	5
	Ruedas ovaladas	3	4	4	4	5
	Pistón giratorio	3	3	3	3	4
	Diafragma para gases	3	3	1	2	2
	Giratorio de gas	3	4	3	3	3
4	Turbina	3	4	3	4	4
	Pelton	4	3	3	4	3
	Medidor mecánico	3	2	2	3	3
	Turbina de inserción	2	3	2	2	3
5	Vórtex	3	3	3	3	3
	Tipo Coanda	3	4	3	3	3
	Vórtex de inserción	2	3	2	3	3
6	Electromagnético	3	3	1	3	3
	Electromagnético de inserción	2	3	2	3	2
7	Doppler	1/3	1	1	3	2
	Tiempo de Tránsito	1/3	.3	1	3	2
8	Coriolis	3	4	4	3	3
	Rotor de torsión	3	3	3	3	3
9	Anemómetro	3	2	1	3	3
	De masa térmica	3	4	2	4	3
10	Trazador	2		4	2	4
	Laser	5		4	5	5

1 es bajo 5 es alto

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS Norma BS-7405

3

Requerimientos de costo

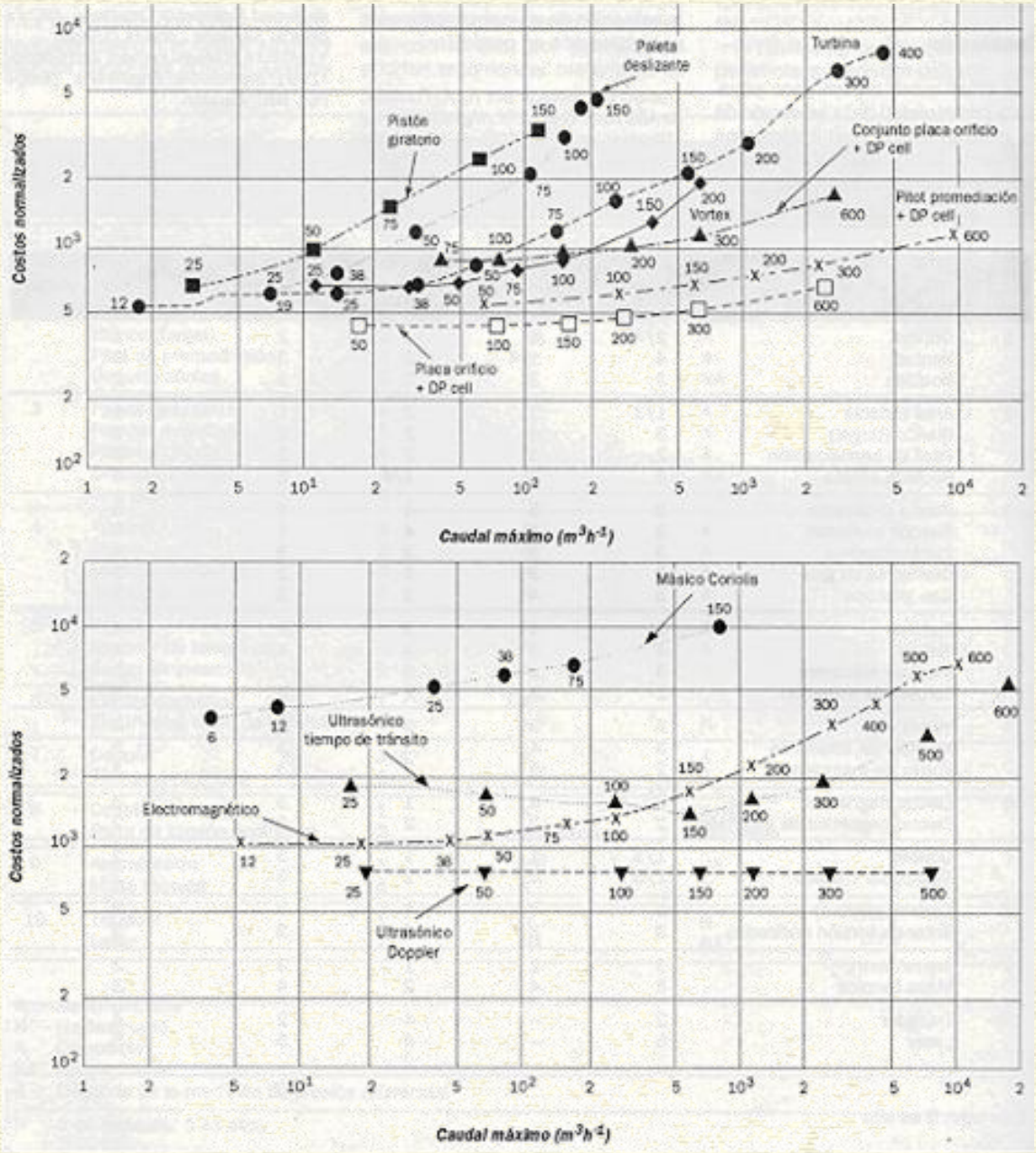


Figura 3: Precios relativos de distintos caudalímetros (los números indican el tamaño de cañería en milímetros)

Los **costos operativos** son los más difíciles de determinar. Normalmente están relacionados con el gasto de energía. Hay publicaciones que permiten por ejemplo estimar la pérdida de carga en la línea asociable al costo de bombeo.

Flowmeter	Liquid	Gas (vapor)	Liquid/gas (vapor); mass flow
Venturi:			
15 exit cone	→	$h = (0.436 - 0.86\beta + 0.59\beta^2)\Delta P$	←
7 exit cone	→	$h = (0.218 - 0.42\beta + 0.38\beta^2)\Delta P$	←
Universal venturi tube	→	$h = (0.065 + 0.092\beta - 0.167\beta^2)\Delta P$	←
Lo-Loss® tube	→	$h = (0.151 - 0.304\beta + 0.182\beta^2)\Delta P$	←
Nozzle	→	$h = (1 + 0.014\beta - 2.06\beta^2 + 1.18\beta^3)\Delta P$	←
Orifice	→	$h = (1 - 0.24\beta - 0.52\beta^2 - 0.16\beta^3)\Delta P$	←
Annubar			
Types 73, 75, 76	→	$h = \frac{1.25}{D}\Delta P$	←
Types 85, 86	→	$h = \frac{3.2}{D}\Delta P$	←
Pitot	→	$h = \frac{0.6}{D}\Delta P$	←
Target	→	$h = 0.000467 \frac{\rho v^2}{(1-\beta_T)^{2.75}}$	←
			$h = \frac{1}{(1-\beta_T)^{2.75}}\left(\frac{Q_{pph}}{928\,D^2}\right)^2$
Turbine	$h = 0.00577\,\rho v^2$	$h = 0.0129\,\rho v^2$	Liquid: $h = \frac{1}{\rho}\left(\frac{Q_{pph}}{259\,D^2}\right)^2$
			Gas: $h = \frac{1}{\rho}\left(\frac{Q_{pph}}{173\,D^2}\right)^2$
Vortex	→	$h = 0.00554\,\rho v^2$	←
			$h = \frac{1}{\rho}\left(\frac{Q_{pph}}{264\,D^2}\right)^2$

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS Norma BS-7405

3

Requerimientos de costo

SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS
Norma BS-7405

3 Requerimientos de costo

El **costo de mantenimento** debe contemplar todo lo que implica mantener operativo el instrumento de medición.

Se debe incluir los elementos que deben cambiarse periódicamente (juntas, conectores, etc.) y la mano de obra adicional.