

CONTROL DE PROCESOS – FACET – UNT
TEMA 3 – Nota Auxiliar B
CRITERIO DE SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS

El caudal es una de las variables de proceso que más frecuentemente se mide. Los caudalímetros acaparan casi el 75% del monto de ventas anuales de transmisores convencionales. La gran demanda ha llevado a la proliferación de caudalímetros de todo tipo y tamaño. Con tanta variedad y cantidad de proveedores, la selección se hace cada vez más difícil. La elección deberá satisfacer los requerimientos de la *aplicación, performance y costo*. En esta tarea se puede emplear como referencia la información proporcionada en la norma británica BS-7405 que se basa en más de 100 diseños con más de 200 proveedores. La norma BS-7405 empleó el principio de funcionamiento para clasificar los distintos tipos de medidores de flujo y que conformaron la base de la estructura de la norma:

Tabla I: Tipos de Caudalímetros

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

La norma BS-7405 no considera los dos últimos grupos. Las condiciones a ser analizadas en la selección son entonces:

- (1) **Requerimientos de aplicación.** Las necesidades de una aplicación específica constituyen el primer conjunto de criterios a examinar. El tipo de líquido y la viscosidad son parámetros más que obvios. Para descartar las alternativas que no satisfacen los requerimientos de aplicación se puede emplear la Tabla II. En la Figura 1 se pueden consultar el rango de diámetros de los dispositivos. Hay condiciones vinculadas a las propiedades del fluido (Tabla III), restricciones impuestas por la instalación (Tabla IV) y limitaciones ambientales (Tabla V) que también deben ser tenidas en cuenta.
- (2) **Requerimientos de performance.** Los requerimientos de performance son relativamente sencillos y reflejan la calidad de la medición y las necesidades para el control del sistema. Se puede consultar la Tabla VI y la Figura 2 y así descartar los elementos primarios que no cumplan con las exigencias.
- (3) **Requerimientos de costo.** Las evaluaciones de costo pueden ser subjetivas y tienden a concentrarse en los costos iniciales de compra, despreciándose los gastos a largo plazo. El costo de compra e instalación son fáciles de examinar (a modo de referencia puede consultarse la Figura 3). Los costos de mantenimiento y operacionales son más difíciles de definir y a veces se los pasa por alto, aunque pueden ser importantes. Los costos de mantenimiento incluyen costos de recalibración y reparación mientras que los costos operacionales incluyen por ejemplo los de bombeo relacionados con la pérdida permanente de presión del instrumento. Para tener una idea aproximada puede tomarse como referencia las indicaciones de la Tabla VI.

CONTROL DE PROCESOS – FACET – UNT
TEMA 3 – Nota Auxiliar B
CRITERIO DE SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS

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	■	#	■	■	■	■	■	■	#		#	■	■				?	■	#

<p>■ 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.</p>	<p>(2) Aplicaciones con gases J. Gases en general K. Flujos reducidos de gas (< 150 m³/hora) L. Grandes flujos de gases (> 5000 m³/hora) M. Gases calientes (> 200 °C) N. Vapor</p>
<p>(1) Aplicaciones para líquidos A. Líquidos en general (< 50 cP) B. Flujos reducidos de líquidos (< 2 L/min) C. Grandes flujos de líquido (>1000 m³/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</p>	<p>(3) Otras aplicaciones P. Suspensiones y flujos de partículas Q. Mezclas líquido-líquido R. Mezclas líquido-gas S. Líquidos corrosivos T. Gases corrosivos</p>

En la Tabla II se muestran las dieciocho aplicaciones más comunes y se hace corresponder los caudalímetros representativos de cada uno de los grupos principales con las aplicaciones. Esto permite la eliminación de aquellos tipos que claramente no son adecuados.

CONTROL DE PROCESOS – FACET – UNT
TEMA 3 – Nota Auxiliar B
CRITERIO DE SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS

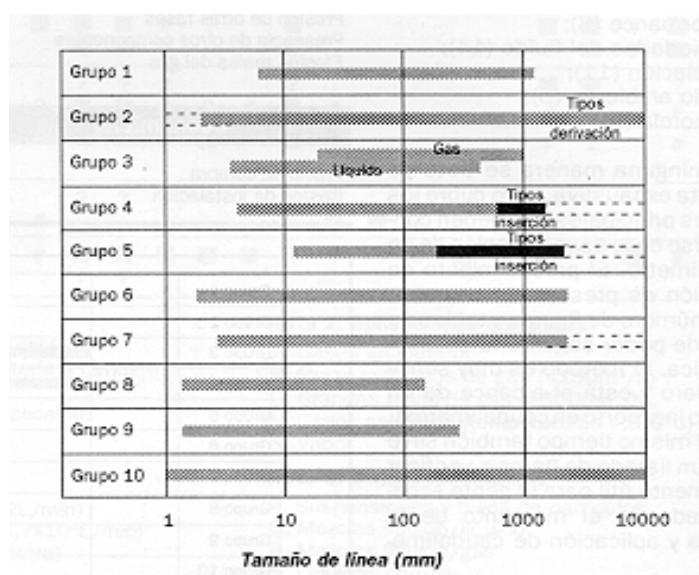


Figura 1: Distribución por tamaños de los grupos de caudalímetros

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	$3 \cdot 10^4$	L G	P
	Venturi	400	< + 650	10^5	L G	P
	Boquilla	400	< + 650	$2 \cdot 10^4$	L G	N
2	Area variable	700	-80 a +400	Sin datos	L G	N
	De blanco (Target)	100	-40 a +120	$3 \cdot 10^4$	L G	S
	Pitot Promediante	400	< +540	10^4	L G	N
	Boquilla sónica	400	< +650	$2.5 \cdot 10^4$	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	$2.5 \cdot 10^2$	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	$2 \cdot 10^4$	L G	P
	Tipo Coanda	100	-40 a +110	Sin datos	L G	N
	Vórtex de inserción	70	-30 a +150	$5 \cdot 10^3$	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	$5 \cdot 10^3$	L	S
	Tiempo de Tránsito	200	-200 a +250	$5 \cdot 10^3$	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

CONTROL DE PROCESOS – FACET – UNT
TEMA 3 – Nota Auxiliar B
CRITERIO DE SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS

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
--	--

CONTROL DE PROCESOS – FACET – UNT
TEMA 3 – Nota Auxiliar B
CRITERIO DE SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS

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
---	---

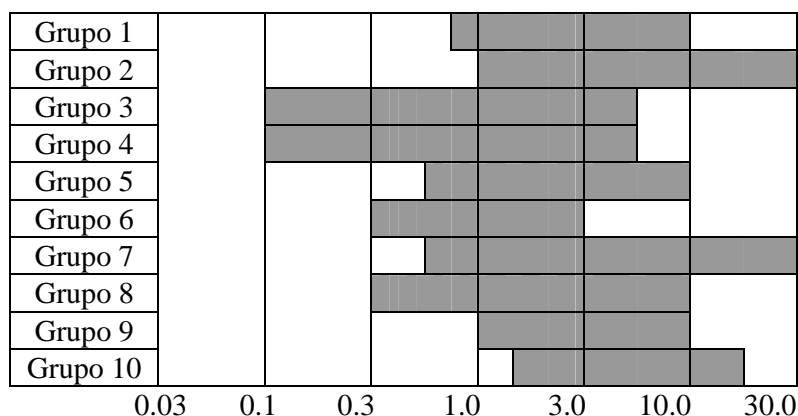


Figura 2: Incertidumbre (% del caudal) típicas de los distintos grupos de caudalímetros

CONTROL DE PROCESOS – FACET – UNT
TEMA 3 – Nota Auxiliar B
CRITERIO DE SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS

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

Grupo	Tipo	Linealidad	Repetibilidad	Rangeability	Δp con caudal máx. ⁽¹⁾	Parámetro 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	$\pm 1\%$ a $\pm 5\%$ FS	$\pm 0.5\%$ a $\pm 1\%$ FS	10:1	3	R	Sin datos
	De blanco (Target)	NS	NS	3:1	3	R	NS
	Pitot Promediante	#	$\pm 0.05\%$ a $\pm 0.2\%$ R	#	1/2	v_m	#
	Boquilla sónica	$\pm 0.25\%$	$\pm 0.1\%$	100:1	3/4	R	NS
3	Paleta deslizante	$\pm 0.1\%$ a $\pm 0.3\%$ R	$\pm 0.01\%$ a $\pm 0.05\%$ R	10 a 20:1	4/5	T	> 0.5 s
	Ruedas ovaladas	$\pm 0.25\%$ R	$\pm 0.05\%$ a $\pm 0.1\%$ R		4	T	> 0.5 s
	Pistón giratorio	$\pm 0.5\%$ a $\pm 1\%$ R	$\pm 0.2\%$ 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	$\pm 1\%$	$\pm 0.2\%$	25:1	2	T	> 0.5 s
4	Turbina	$\pm 0.15\%$ a $\pm 1\%$ R	$\pm 0.02\%$ a $\pm 0.5\%$ R	5 a 10:1	3	R	5 ms a 25 ms
	Pelton	$\pm 0.25\%$ a $\pm 0.5\%$ R	$\pm 0.1\%$ a $\pm 0.25\%$ R	4 a 10:1	4	R	5 ms a 25 ms
	Medidor mecánico	Sin datos	$\pm 1\%$ FS	10 a 280:1	3	R	50 ms
	Turbina de inserción	$\pm 0.25\%$ a $\pm 5\%$ R	$\pm 0.1\%$ a $\pm 2\%$ R	10 a 40:1	1/2	v_p	5 ms a 25 ms
5	Vórtex	$\pm 1\%$ R	$\pm 0.1\%$ a $\pm 1\%$ R	4 a 40:1	3	R	0.5 s min.
	Tipo Coanda	< $\pm 2\%$ R	NS	10 a 30:1	3	R	NS
	Vórtex de inserción	$\pm 2\%$	$\pm 0.1\%$ R	15 a 30:1	1	v_p	5 ms
6	Electromagnético	$\pm 0.5\%$ a $\pm 1\%$ R	$\pm 0.1\%$ R a $\pm 0.2\%$ FS	10 a 100:1	1	R	> 0.2 s
	Electromagnético de inserción	$\pm 2.5\%$ a $\pm 4\%$ R	$\pm 0.1\%$ R	10:1	1	v_p	NS
7	Doppler	Sin datos	$\pm 0.2\%$ FS	5 a 25:1	1	v_m, R	
	Tiempo de Tránsito	$\pm 0.1\%$ R a $\pm 1\%$ R	$\pm 0.2\%$ R a $\pm 1\%$ FS	10 a 300:1	1	R	0.02 s a 120 s
8	Coriolis	NS	$\pm 0.1\%$ a $\pm 0.25\%$ 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	$\pm 0.2\%$ FS	10 a 40:1	2	v_p	Sin datos
	De masa térmica	$\pm 0.5\%$ a $\pm 2\%$ FS	$\pm 0.2\%$ FS a $\pm 1\%$ 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	$\pm 0.5\%$ R	hasta 2500:1	1	v_p	Sin datos

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

CONTROL DE PROCESOS – FACET – UNT
 TEMA 3 – Nota Auxiliar B
 CRITERIO DE SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS

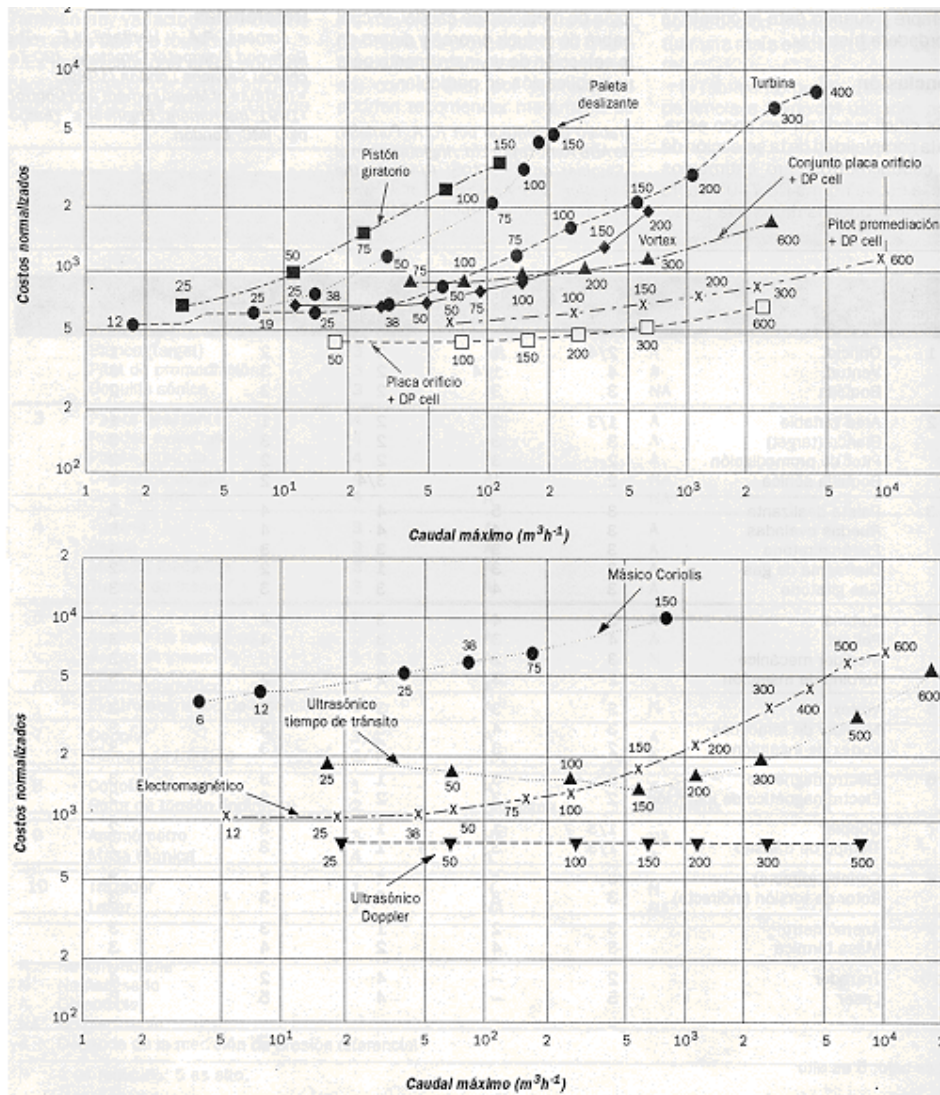


Figura 3: Precios relativos de distintos caudalímetros (los números indican el tamaño de cañería en milímetros)

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.

Al final del proceso se debería obtener una lista con los tipos de medidores y un orden de preferencias. Pero este procedimiento podría tener que repetirse si la especificación no es completa.

No se consideró hasta el momento al proveedor. En este sentido, suele ser de utilidad hablar con tanta gente como sea posible para juntar opiniones sobre aspectos en particular. Al haberse identificado los tipos adecuados de caudalímetros, quizás convenga obtener información de diferentes proveedores. Los grandes proveedores cuentan con más soporte y mayor experiencia, pero todo esto hay que pagarlo. A veces bien vale la pena pagar un poco más por un proveedor

CONTROL DE PROCESOS – FACET – UNT
TEMA 3 – Nota Auxiliar B
CRITERIO DE SELECCIÓN DE CAUDALÍMETROS

reconocido que comprar un "equivalente" más barato. La selección del proveedor "correcto" quizás sea más difícil que la selección de la tecnología de medición. Por ejemplo, tan sólo en Inglaterra, hay más de 200 proveedores de caudalímetros, incluyendo 15 de caudalímetros de masa Coriolis, 34 de caudalímetros magnéticos y más de 60 de caudalímetros a turbina. También hay variaciones de diseño para cada tipo de medidor. Es importante que el usuario prepare una especificación tan amplia y estricta como sea posible. Uno de los mayores problemas que se les plantea a los proveedores es disponer de insuficientes datos de proceso, con lo que, por ejemplo, se podrían recomendar materiales de construcción inadecuados o efectuar una mala elección de los soportes. El fabricante puede utilizar su experiencia a favor del usuario, pero siempre y cuando éste le cuente la "verdadera historia".

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