



Escuela
Universitaria
Ingeniería
Técnica
Industrial
ZARAGOZA

CD

MULTIMEDIA

DE SENsoRES

DE CAUDAL

MEMORIA

AUTOR: GABRIEL DOBATO INGALATURRE

DIRECTOR: FRANCISCO JAVIER ARCEGA SOLSONA

ESPECIALIDAD: ELECTRÓNICA

SEPTIEMBRE 2010

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. ANTECEDENTES.....	5
3. POSIBLES SOLUCIONES.....	7
4. SOLUCIONES ESCOGIDAS.....	12
5. EQUIPO NECESARIO.....	32
6. ESQUEMA CD INTERACTIVO.....	33
7. DESCRIPCIÓN DE LAS PANTALLAS.....	35
8. DOCUMENTACIÓN SOBRE LOS SENSORES.....	46
9. LISTADO DE CARPETAS DEL CD INTERACTIVO.....	149
10. BIBLIOGRAFÍA.....	150
11. CONCLUSIONES, FECHA Y FIRMA.....	152
ANEXO:CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE DIRECTOR.....	153

1. INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo se han ido realizando cambios en la forma de desarrollar y distribuir la información, estos métodos han ido variando desde tiempos ancestrales de formas primitivas (ruidos, gestos...), al papel, y en estos momentos a métodos digitales.

El presente proyecto consiste en un CD MULTIMEDIA DE SENSORES DE CAUDAL en el cual está desarrollada toda la información necesaria sobre los mismos de manera que el usuario pueda acceder a ella de forma interactiva sin que éste necesite conocimientos informáticos avanzados.

El proyecto está dedicado en su totalidad a facilitar la consulta, búsqueda, asimilación y aprendizaje de cuestiones relacionadas con los sensores electrónicos, de esta manera el ordenador sirve al usuario como instrumento para conseguir estos fines.

Para conseguirlo el proyecto se ha apoyado en numerosas imágenes y gráficas que de manera clara y concisa ayudan a que los contenidos se puedan asimilar de forma amena, y haciendo que el aprendizaje sea más sencillo y entretenido.

Esto se consigue mediante el uso de herramientas y aplicaciones multimedia como son Macromedia Director, Adobe Freehand, Photoshop,.. que permiten la interactividad, la edición y creación de imágenes y objetos 3D.

Dada la importancia que actualmente tiene Internet en nuestras vidas, que éste es conocido universalmente, que cuyo acceso está llegando cada vez a más lugares, y que podemos obtener de él infinidad de información, es casi obligatorio que Internet esté integrado totalmente en el CD MULTIMEDIA.

La inclusión de Internet se ha efectuado por medio de enlaces a distintas páginas de las cuales se han recogido imágenes de los distintos sensores y las cuales contienen información sobre los mismos, del mismo modo también se han incluido enlaces a las páginas de los distintos fabricantes de sensores. De este modo podemos hacer un uso simultáneo de ambas herramientas CD e Internet para que el usuario pueda acceder a la información en línea en busca de más conocimientos o apoyo a lo encontrado en el CD. Aunque existe la posibilidad de que dichos enlaces que aparecen en las imágenes o en los logotipos de los fabricantes no permanezcan activos en el momento de la búsqueda.

Con todo lo expuesto lo que realmente se pretende con la realización del CD MULTIMEDIA es conseguir una serie de objetivos entre los que se encuentran:

1. Diseñar contenidos multimedia (sonidos, imágenes...) que resulten atractivos para el espectador.
2. Comprender aspectos básicos sobre el tema del proyecto de manera gráfica.
3. Aprender de forma amena sobre el tema del proyecto.
4. Que el presente proyecto sirva de método didáctico para completar apuntes.
5. Que el archivo final tenga un tamaño adecuado para su difusión.

2. ANTECEDENTES

El CD MULTIMEDIA es una herramienta innovadora e impactante que actualmente se destaca en el mercado multimedia, ya que permite navegar a través de un ambiente interactivo que contiene textos, imágenes, gráficos, fotos... De esta manera se brinda una imagen moderna al contenido del mismo.

Esto se consigue gracias a las numerosas características técnicas y didácticas con las que cuenta el CD MULTIMEDIA:

- Gran organización de los contenidos y fácil localización de los mismos a través de menús.
- Alta capacidad de almacenamiento de información, imágenes,... en general (archivos) que ocupan un volumen mínimo.
- Carácter Interactivo (“diálogo entre usuario y ordenador”).
- Facilidad para su adquisición, renovación o actualización.
- Muy bajo coste.
- Facilidad de transporte
- Como dice su nombre “MULTIMEDIA” admite formatos de distintos tipos como pueden ser texto, imagen, fotos, audio...
- Impacto ambiental leve.
- Eliminación de barreras espaciales y temporales (desde su propia casa, en el trabajo, en un viaje a través de dispositivos móviles, etc.).

Debido a esto los CD'S MULTIMEDIA sirven como complemento didáctico óptimo para el aprendizaje, y como elemento de la enseñanza semipresencial o a distancia también denominadas (Blended-Lerning y E-Lerning) donde el usuario puede manejar los horarios, y trabajar en un medio completamente autónomo y que constituye una propuesta de formación que contempla su implementación predominantemente mediante Internet, haciendo uso de los servicios y herramientas que esta tecnología provee.

Además los CD'S MULTIMEDIA muestran al usuario la información de manera que ésta capte la atención del mismo mediante un contenido llamativo y ameno, de modo que el usuario pueda asimilarlo de forma más sencilla.

Por todo lo anteriormente mencionado el CD debe poder manejarse de forma autónoma por lo que éste debe poder utilizarse en cualquier lugar, con cualquier sistema operativo, y para que esto se lleve a cabo hay que plantearse el tipo de

documento que queremos realizar y las herramientas disponibles para la realización del mismo.

Las herramientas disponibles en nuestro caso para la realización del CD MULTIMEDIA se centran en el uso de aplicaciones que permiten a sus usuarios crear sus propios proyectos multimedia con poca o nada de programación, que funcionen con cualquier sistema operativo y sin necesidad de que esté instalada la aplicación principal, y a las que se les denominan en el ámbito informático como “Authoring” o Programas de Autor.

Una vez se decide utilizar un programa de autor, hay que decidir cuál de todos los existentes es el idóneo para la realización del CD MULTIMEDIA, en este caso se ha decidido optar por MACROMEDIA DIRECTOR para la realización del cd.

3. POSIBLES SOLUCIONES

Al comenzar un proyecto una vez se tiene la documentación del mismo solo queda hacer un estudio previo que consiste en saber cuál será la plataforma para desarrollarlo y las imágenes que servirán de apoyo, en este caso se trata de un CD MULTIMEDIA por lo que se debe estudiar con qué programas actuales podemos realizar el cd y con cuales podemos crear o modificar imágenes.

3.1 DISEÑO DEL CD MULTIMEDIA

En el caso del diseño del CD MULTIMEDIA los programas estudiados han sido Flash y Macromedia Director.

3.1.1 MACROMEDIA FLASH

Adobe Flash es una aplicación multimedia usada para aportar animación, vídeo e interactividad.



Adobe Flash trabaja sobre "fotogramas", está destinado a la producción y entrega de contenido interactivo para las diferentes audiencias alrededor del mundo sin importar la plataforma. Es actualmente desarrollado y distribuido por Adobe Systems, y utiliza gráficos vectoriales e imágenes ráster, sonido, código de programa, flujo de vídeo y audio bidireccional. En sentido estricto, Flash es el entorno y Flash Player es el programa de máquina virtual utilizado para ejecutar los archivos generados con Flash.

Los archivos de Flash, que tienen generalmente la extensión de archivo SWF, pueden aparecer en una página web para ser vista en un navegador, o pueden ser reproducidos independientemente por un reproductor Flash. Los archivos de Flash aparecen muy a menudo como animaciones en páginas Web y sitios Web multimedia, y más recientemente Aplicaciones de Internet Ricas. Son también ampliamente utilizados en anuncios de la web.

Originalmente Flash no fue un desarrollo propio de Adobe, sino de una pequeña empresa de desarrollo de nombre FutureWave Software y su nombre original fue FutureSplash Animator. En diciembre de 1996 Macromedia adquiere FutureWave Software, y con ello su programa de animación vectorial que pasa a ser conocido como Flash 1.0. Fue hasta 2005 perteneciente a la empresa Macromedia conocido hasta entonces como Macromedia Flash y adquirido por Adobe Systems (y desde entonces

conocido como Adobe Flash) ampliando con ello su portafolio de productos dentro del mercado.

3.1.2 MACROMEDIA DIRECTOR

Adobe Director es una aplicación de Desarrollo de Software (o Autoría de Software) Multimedia (que inspiró a Adobe Flash®) destinado para la producción de programas ejecutables ricos en contenido multimedia. Es considerada una de las herramientas más poderosas de integración y programación de medios digitales, debido a su versatilidad de poder incorporar imágenes, audio, vídeo digital, películas flash, y un engine 3D, en una sola aplicación, y manipularlas a través de un lenguaje de programación (Lingo; Javascript).

Desarrollado originalmente por la empresa Macromedia, es actualmente distribuído por Adobe Systems Incorporated.

Las presentaciones multimedia generadas por Director pueden ser distribuidas a través de diversos medios, como discos digitales CD, DVD o cualquier otro soporte de

información binaria pendrives, tarjetas de memoria, discos duros. También permite ser distribuido y ejecutado directamente en plataformas Web gracias al formato Shockwave (creado para esos fines). Con Director también es posible programar una amplia gama de aplicaciones basadas en redes, lo que ha permitido crear innumerables sistemas y juegos multiusuario a través de la red.



Director también permite la manipulación de modelos en 3D, gracias a Shockwave 3D. Es así como diversos programas de modelamiento, como 3D Studio MAX (de la empresa Autodesk), permiten exportar sus modelos (incluyendo las animaciones) en formato Shockwave 3D, el que puede ser importado a Director, y manipulado a través de instrucciones. A través de variados Xtras (como Havok), Director también puede manipular propiedades físicas de modelos 3D (como por ejemplo, gravedad, coeficientes de roce, restitución, etc) que permiten lograr simulaciones más realistas, tanto para software de ingeniería avanzada, como para juegos.

Además del potente lenguaje incorporado (Lingo), una de sus principales ventajas radica en el uso de los llamados xtras. Se trata de “pequeños programas” (plugins) desarrollados en lenguaje C++ por otros usuarios o terceras empresas, que proporcionan al usuario infinidad de utilidades.

Se pueden generar varios tipos de archivos, sin embargo lo más normal es crear un archivo ejecutable para Windows (.exe) o Macintosh (.app). De esta forma puede verse la presentación en cualquier ordenador, sin tener instalado Adobe Director.

Con el lanzamiento de Director 11 y su evolución a la versión 11.5, de la mano de Adobe, se incorporó soporte para DirectX y se extendieron las capacidades en 3D basadas en el engine PhysX de NVIDIA, importación de 3D desde Google SketchUp, así como también filtros de bitmaps, canales de audio 5.1, vídeo en alta definición, soporte para H.264, e integración de Adobe Flash CS3 y Shockwave Player 11.

3.2 DISEÑO DE IMÁGENES

En el caso del diseño de imágenes los programas estudiados son Adobe Photoshop y Macromedia Freehand Mx.

3.2.1 ADOBE PHOTOSHOP

Adobe Photoshop (Taller de Fotos) es una aplicación informática en forma de taller de pintura y fotografía que trabaja sobre un "lienzo" y que está destinado para la edición, retoque fotográfico y pintura a base de imágenes de mapa de bits (o *gráficos rasterizados*).

Es un producto elaborado por la compañía de software Adobe Systems, inicialmente para computadores Apple pero posteriormente también para plataformas PC con sistema operativo Windows.



Photoshop en sus versiones iniciales trabajaba en un espacio bitmap formado por una sola capa, donde se podían aplicar toda una serie de efectos, textos, marcas y tratamientos. En cierto modo tenía mucho parecido con las tradicionales ampliadoras. En la actualidad lo hace con múltiples capas.

A medida que ha ido evolucionando el software ha incluido diversas mejoras fundamentales, como la incorporación de un espacio de trabajo multicapa, inclusión de elementos vectoriales, gestión avanzada de color (ICM / ICC), tratamiento extensivo de tipografías, control y retoque de color, efectos creativos, posibilidad de incorporar *plugins* de terceras compañías, exportación para web entre otros.

Photoshop se ha convertido, casi desde sus comienzos, en el estándar *de facto* en retoque fotográfico, pero también se usa extensivamente en multitud de disciplinas del campo del diseño y fotografía, como diseño web, composición de imágenes bitmap, estilismo digital, fotocomposición, edición y grafismos de vídeo y básicamente en cualquier actividad que requiera el tratamiento de imágenes digitales.

Photoshop ha dejado de ser una herramienta únicamente usada por diseñadores / maquetadores, ahora Photoshop es una herramienta muy usada también por fotógrafos profesionales de todo el mundo, que lo usan para realizar el proceso de "positivado y ampliación" digital, no teniendo que pasar ya por un laboratorio más que para la impresión del material.

Con el auge de la fotografía digital en los últimos años, Photoshop se ha ido popularizando cada vez más fuera de los ámbitos profesionales y es quizás, junto a Windows y Flash (de Adobe Systems También) uno de los programas que resulta más familiar (al menos de nombre) a la gente que comienza a usarlo, sobre todo en su versión Photoshop Elements, para el retoque casero fotográfico.

Aunque el propósito principal de Photoshop es la edición fotográfica, este también puede ser usado para crear imágenes, efectos, gráficos y más en muy buena calidad. Aunque para determinados trabajos que requieren el uso de gráficos vectoriales es más aconsejable utilizar Adobe Illustrator.

Entre las alternativas a este programa, existen algunos programas libres como GIMP, orientada a la edición fotográfica en general, o propietarios como PhotoPaint de Corel, capaz de trabajar con cualquier característica de los archivos de Photoshop, y también con sus filtros *plugin*.

3.2.2 MACROMEDIA FREEHAND MX

Macromedia FreeHand (FH) es un programa informático de creación de imágenes mediante la técnica de gráficos vectoriales. Gracias a ella, el tamaño de las imágenes resultantes es escalable sin pérdida de calidad, lo que tiene aplicaciones en casi todos

los ámbitos del diseño gráfico: identidad corporativa, páginas web (incluyendo animaciones Flash), rótulos publicitarios, etc.



La historia de este programa en el mercado ha sido azarosa. El programa fue creado originalmente por la compañía Altsys, y luego licenciado a Aldus. Cuando esta compañía y su cartera de productos fueron adquiridas por Adobe Systems, los nuevos propietarios se vieron

obligados a desprenderse de él: FreeHand se situaba en competencia directa con uno de los productos originales más importantes de la empresa (Adobe Illustrator), algo que incluso podía constituir un indicio de prácticas monopolistas. Después de la intervención de la Comisión Federal de Comercio de los EE.UU., el programa volvió a manos de Altsys, que fue comprada posteriormente por Macromedia. Esta firma continuó desarrollando el programa desde la versión 5.5 hasta la MX. Sin embargo, desde 2003 hasta 2006, Macromedia ha mostrado poco interés en el desarrollo del producto, pese a lo cual ha mantenido su cuota de mercado gracias a su excelente integración con el resto de los productos de la firma (como Flash o Fireworks). De ese modo, FreeHand no ha sido actualizado junto con las demás herramientas de la firma ni en el paquete "MX 2004" ni en el "Studio 8", permaneciendo estancado en la versión "MX". La compra en 2005 de Macromedia por parte de Adobe vuelve a colocar al producto en una posición "incómoda" (de nuevo en competencia con Illustrator).

Cabe destacar su enorme capacidad para la maquetación de texto, que le permite (siempre que no se trate de documentos excesivamente grandes), suplir la utilización de aplicaciones específicas como Quark Xpress o Adobe InDesign.

4. SOLUCIONES ESCOGIDAS

Tras realizar el estudio previo de las posibles herramientas que se podrían utilizar, teniendo en cuenta sus funcionalidades, opciones de diseño, características principales y facilidad de uso se decidió realizar el proyecto con las siguientes herramientas.

4.1 MACROMEDIA DIRECTOR

Macromedia Director MX es un programa multimedia de autor muy difundido a nivel internacional, además de considerarse la herramienta de usuario final más importante para crear medios interactivos para la World Wide Web, CD-ROM, kioscos de información, presentaciones e intranet corporativas. La interfaz de fácil manejo de Director permite combinar texto, gráficos, sonido, vídeo, gráficos vectoriales y otros medios en cualquier orden y, después, añadir características interactivas mediante Lingo, el potente lenguaje de programación del programa.

Por tanto para la realización del CD MULTIMEDIA la herramienta elegida es MACROMEDIA DIRECTOR y estas son las principales razones para utilizarlo:

Compatibilidad con más de 40 formatos de archivo de vídeo, sonido e imagen es posible incorporar contenido en casi todos los formatos principales, incluidos los archivos SWF, DVDVídeo, H.264, y otros formatos de vídeo, así como en la más amplia gama de formatos de sonido y gráficos.

Funciones de audio mejoradas sonido realista gracias a la última tecnología de funciones de audio, que incluye el sonido envolvente de 5.1 canales, la mezcla de sonidos de 16 canales y filtros avanzados.

Potente compatibilidad con 3D

Se puede incorporar el contenido en 3D para ofrecer experiencias más atractivas. Crear rápidamente sofisticados entornos en 3D utilizando millones de modelos en 3D ya definidos y disponibles a través de Google SketchUp y Google 3D Warehouse, y sacar provecho de la compatibilidad con DirectX 9 para la representación tridimensional nativa.

Compatibilidad con Unicode

Localice fácilmente sus aplicaciones para los mercados internacionales gracias a la compatibilidad con Unicode.

Motor físico mejorado

Crear nuevos niveles de movimiento e interacción dinámicos y avanzados en sus juegos y simulaciones con el motor NVIDIA PhysX.

Script Browser mejorado

Se ahorra tiempo con la comodidad de hacer clic para introducir una secuencia de comandos; la facilidad de acceder a información sobre funciones, eventos, palabras clave y comandos; y un diccionario completo de Lingo y JavaScript.

Filtros de mapas de bits

Variedad de sofisticados efectos visuales como desenfoque, sombras paralelas, bisel, brillo y muchos más, con los filtros de mapas de bits que se pueden aplicar a través de la interfaz de usuario o de secuencias de comandos.

Plug-ins Xtra

Se amplía el entorno creativo, así como el motor de reproducción, con un ecosistema en constante crecimiento de Xtras de terceros.

Motor de representación de texto mejorado

Se consiguen textos uniformes y nítidos para las aplicaciones gracias a un motor de texto potente que mejora la representación de la fuente.

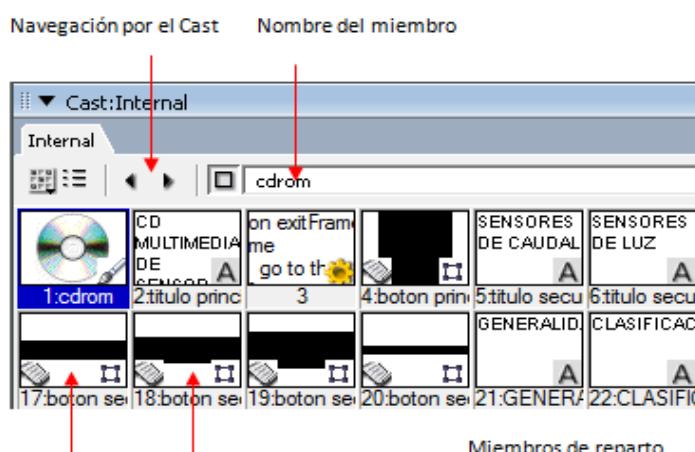
Fácil salida en versiones múltiples

Puede ser publicado en diversas plataformas y tecnologías, con una producción que asegure que la aplicación está lista para los clientes en prácticamente todos los ordenadores, quioscos, DVD, CD y la Web.

COMPONENTES DE MACROMEDIA DIRECTOR

La ventana Cast (Menu->Window->Cast)

En esta ventana es donde almacenamos los elementos importados o creados en el mismo Director, que formarán parte de la película. Este es el "almacén" de nuestro proyecto.



Los diferentes elementos que podemos encontrar en esta ventana son:

- **Navegación por el Cast:** Nos permite avanzar y retroceder a través de los miembros del reparto.
- **Utilidad para mover los miembros del reparto:** Esta es una herramienta muy útil cuando tenemos un gran número de elementos en el cast y queremos mover alguno a otra posición no visible. Para hacerlo, seleccionamos el miembro del cast que queremos mover y luego arrastramos el cuadradito hacia el lugar del Cast a donde queremos mover este miembro seleccionado. Al soltar sobre la casilla que queramos, veremos que el miembro que teníamos seleccionado se coloca en esa casilla.
- **Script e Info del miembro de reparto:** Estos son dos botones fundamentales para trabajar en el Cast.

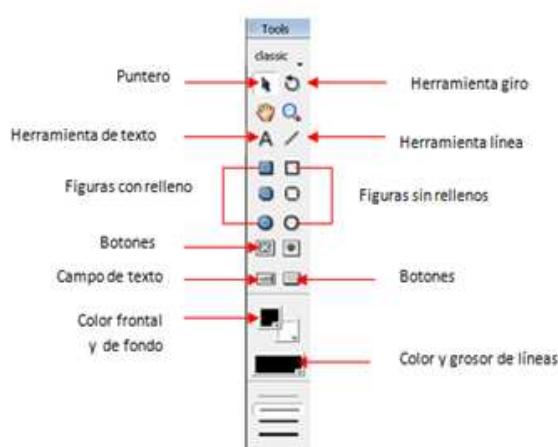
- En el primero (script) podemos asignar un Script al miembro seleccionado. De esta forma este miembro, al ser colocado en el escenario se comportará tal y como se le haya asignado en el script de Cast, independientemente de donde este colocado. Por ejemplo, si a un miembro le asignamos el script:

```
on mouseDown  
beep  
end
```

este personaje siempre reproducirá un sonido de alerta del sistema cada vez que se haga clic sobre él.

- El segundo botón (info) nos sirve para asignar propiedades particulares al miembro del reparto.

La ventana Tool Palette (Menu->Window->Tool Palette)



Esta es la paleta de herramientas de Director. Las diferentes herramientas que nos encontramos en ella son:

- La primera herramienta es el **puntero**. Sirve para seleccionar y mover objetos por el Stage (escenario).
- La segunda es la **herramienta de giro**. Sirve para girar de forma libre los sprites que hemos colocado en el escenario.
- Luego tenemos las **figuras con relleno y sin relleno**. Estas figuras tiene la particularidad de ocupar muy poca memoria, lo que agilizará nuestra película si se reproduce en internet, por ejemplo, en donde la velocidad de ejecución es un punto crítico.
- Los botones de selección y radio, son los típicos botones que encontramos en aplicaciones y páginas web. Más adelante veremos cómo utilizarlos para recoger información a través de Lingo.
- Las herramienta siguiente nos sirve para **asignar un color de fondo y frontal** a nuestras figuras, campos de texto, etc..
- Las últimas herramientas son las de **color y grosor de linea**.

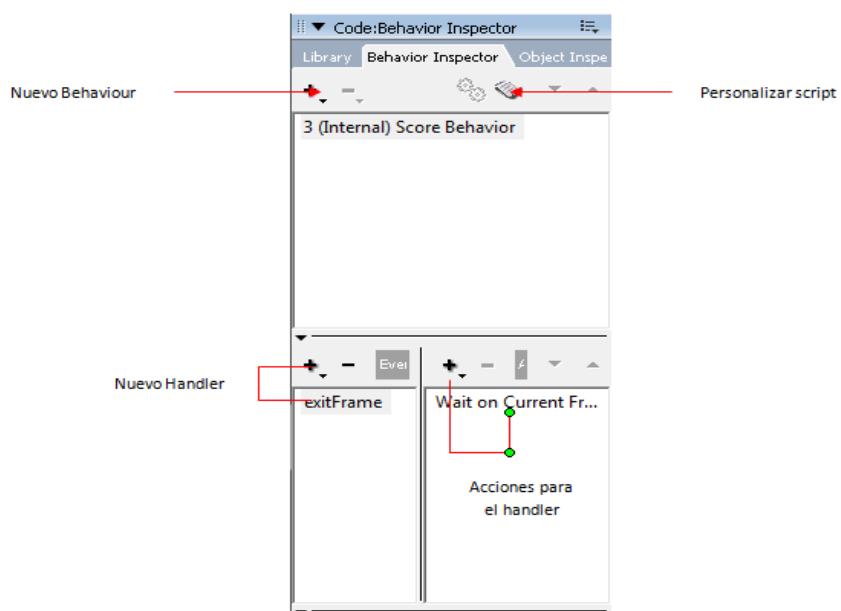
Inspector de Texto (Menu->Window->Inspector->Text)



Aquí asignamos tipos de letra, alineación, espacio entre líneas, etc, para los textos y campos de texto.

La ventana Behaviour (Menu->Window->Inspector->Behaviour)

Es un pequeño asistente que nos permite asignar Scripts de Lingo, sin necesidad de escribir el código, sino seleccionando los handlers y las acciones que queramos ejecutar. Más adelante veremos los conceptos de handler y script con mucho más detalle. Utilizar la ventana Behavior no es la forma más limpia de programar en Director, y siempre que podamos, debemos escribir el código nosotros mismos. Esto no es una simple cuestión de estilo, sino que el abuso de los scripts generados en la ventana behavior puede llegar a saturar proyectos medianamente grandes, provocando comportamientos inesperados. Las indicaciones del gráfico, de momento, son lo suficientemente explicativas. Cuando entremos en temas de Lingo, aprenderemos a utilizar los scripts de forma extensa y pormenorizada.

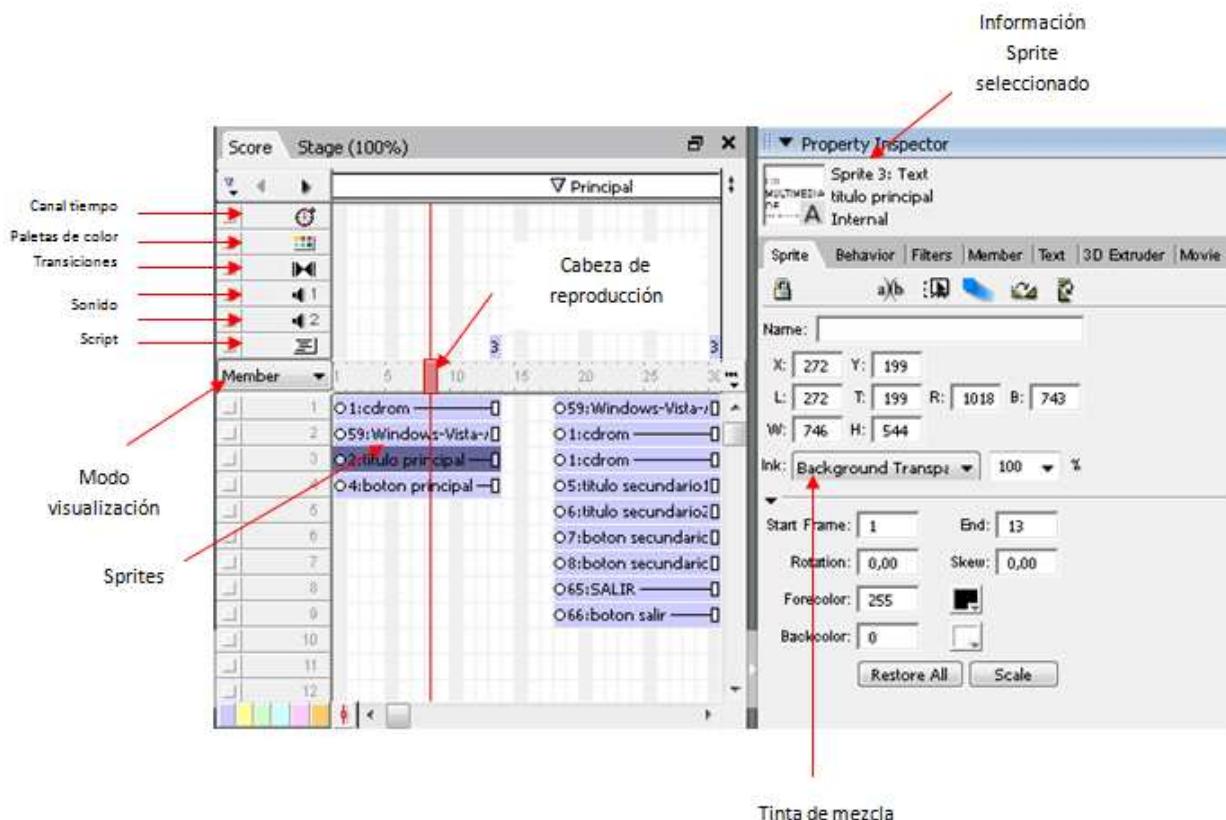


La ventana Score (Menu->Window->Score)

Director. Sin embargo, una vez que comprendemos sus funciones, y empezamos a hacer nuestros primeros juegos en ella, se va transformando simplemente en una herramienta poderosa y versátil.

Debemos entender el Score, como un secuenciador, o una partitura, en donde colocamos todos los elementos de nuestra película. Cuando la cabeza de reproducción comienza, va leyendo todo lo que encuentra, a la velocidad que le hayamos asignado, interpretando y obedeciendo a los scripts que hayamos puesto en su camino y moviendo o mostrando los sprites que hayamos colocado en los canales.

En el gráfico inferior vemos las partes principales de la ventana score.



ACTIVIDADES QUE PODEMOS REALIZAR CON MACROMEDIA DIRECTOR

Incorporar gráficos en la película

En Director podemos importar una serie muy amplia de formatos gráficos, como por ejemplo, GIF, JPEG, PNG, BMP, PICT, etc.

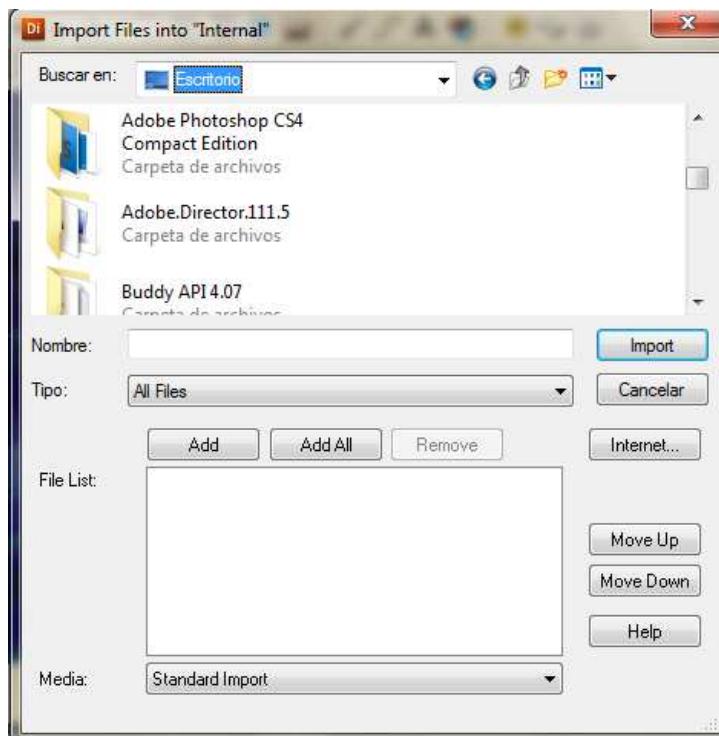
A la hora de importar imágenes en Director es muy importante pensar para qué las vamos utilizar, para decidir el formato correcto. Una pantalla de ordenador funcionando a 256 colores corresponde a 8 bits de profundidad de color, una pantalla a miles de colores corresponde a 16 bits, y una pantalla a millones de colores corresponde a 24-32 bits.

Si queremos mostrar fotografías de gran calidad podemos optar por 16, 24 ó 32 bits, pero si lo que importamos son imágenes para animación será suficiente importarlas a 8 bits de profundidad de color, de este modo nuestra película ocupará menos memoria y funcionará más rápido.

No tiene en absoluto ningún sentido que realicemos una animación con imágenes a 32 bits, porque por un lado nuestra película ocupará demasiado y se arrastrará muy lentamente en un CD-ROM de 4X velocidad, e incluso en CD-ROM de mayor velocidad.

Por eso es conveniente probar las películas directamente en CD antes de distribuirlas para evitarnos sorpresas. Importar gráficos (Menú -> File -> Import).

Supongamos que tenemos los gráficos que vamos a introducir en nuestra película preparados en su carpeta o directorio correspondiente. Seleccionamos la opción del menú File -> Import, y obtendremos una ventana similar a la mostrada en la figura siguiente:

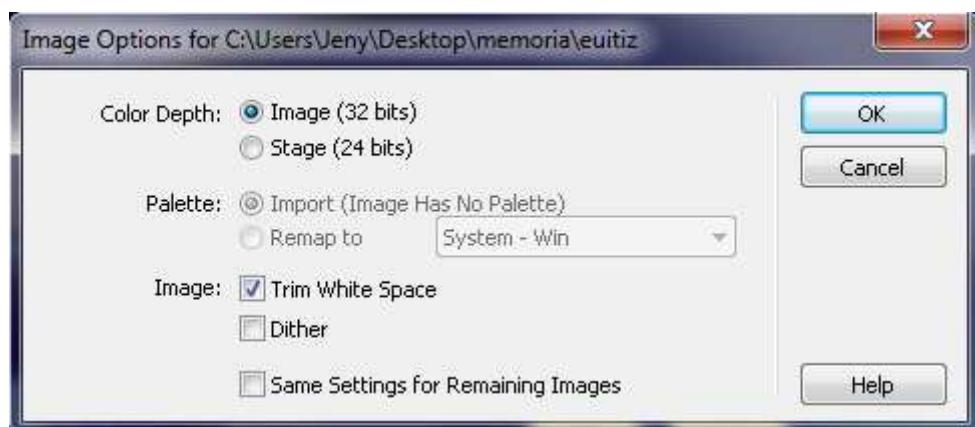


Si queremos importar un solo archivo, seleccionamos en la parte superior el archivo y pulsamos "IMPORT", de este modo pasaremos a la pantalla siguiente en función del tipo de archivo que hayamos importado.

Si queremos importar más de un archivo a la vez, vamos seleccionando los archivos y pulsando el botón "ADD", de este modo los archivos que serán importados se van alineando en la parte inferior, y al pulsar "IMPORT", se importarán todos los archivos que hayan sido pasados a la ventana inferior.

Si queremos eliminar algún archivo de la selección, lo seleccionamos en la parte inferior y pulsamos "REMOVE".

Una vez le hemos dado al botón "IMPORT" y le hemos expresado nuestra conformidad a Director, nos aparece una ventana similar a la siguiente en donde podemos fijar algunos ajustes.



Incorporar sonidos a la película

Por lo general, en un editor de sonido podemos ajustar la resolución del sonido de igual modo que hacemos con los gráficos en un editor de imágenes.

Los principales parámetros que podemos configurar en un sonido son:

- Frecuencia de muestreo (Khz).
- Número de bits utilizado para codificar cada muestra (resolución).
- Mono o estéreo.

En Macintosh podemos importar básicamente sonidos AIFF o System 7 Sound, y en la versión 7 de Director también en Formato Sun .au, que es el formato de sonido utilizado por las applets Java.

Para ambas plataformas Macintosh y PC el formato de sonido recomendado es AIFF. Así mantendremos la máxima compatibilidad entre las dos plataformas. La frecuencia de muestreo recomendada para el sonido (a ajustar en nuestro editor de sonido preferido), es de 22,050 Khz ó 11,025 Khz. Los sonidos con frecuencia superior a esta, pueden bloquear una película ya que hay que tener en cuenta que por lo general cuando ponemos en una película una animación gráfica y un sonido, estamos obligando al procesador a realizar dos operaciones, una actualizar el gráfico y otra leer y reproducir el archivo de sonido.

Cuando desarrollamos una producción multimedia, tenemos que tener en cuenta que este material debe poder reproducirse en sistemas inferiores a aquellos con los que estamos desarrollando la aplicación, como PC's con procesadores más lentos, menor capacidad de memoria, lector de CD/DVD de menor velocidad, etc. Importar sonidos (Menú → File -> Import).

El proceso de importar sonido es exactamente el mismo que a la hora de importar un gráfico, pero el sonido tiene menos peculiaridades en este proceso que los gráficos.

Incorporar videos a la película

A cualquier ordenador le cuesta mucho esfuerzo reproducir video. Con el video digital debemos tener aún más cuidado que con el sonido, ya que aparte de que un vídeo de unos pocos segundos a 320 X 240 pixels ocupa varios megas en el disco duro, la reproducción de este en pantalla es una tarea pesada para cualquier tipo de ordenador.

Si el vídeo además tiene sonido, debemos vigilar que el formato del sonido también sea el adecuado, si no queremos que nuestro video vaya a saltos y pierda fotogramas intentando sincronizar la imagen con el sonido.

Sobra decir que es tarea imposible intentar reproducir a la vez dos videos con sonido en pantalla a un tiempo y esperar un resultado lejanamente aceptable. Aunque podemos hacer video digital al tamaño que queramos en un programa editor de video, como Adobe Premiere, hay algunos formatos estándares que nos convendrá usar, como el estándar QuickTime (320 X 240 pixels). Este formato es el más grande recomendable a la hora de insertar video en nuestra aplicación multimedia. Importar vídeos (Menú → File -> Import).

Aquí vemos las propiedades del video a las que podemos acceder en la ventana Cast:

- Playback: Este es el principal control de la reproducción de vídeo en Director. Sus diferentes opciones son:
 - Video: Indicamos si queremos que se vea el vídeo en el escenario, o bien sea invisible, pero conservando las propiedades del sonido.
 - Sound: Indicamos si nuestro vídeo tendrá sonido o no. Es conveniente desactivar esta opción si el vídeo que hemos importado no tiene sonido, así QuickTime no intentará ajustar la imagen a un sonido hipotético, y el vídeo funcionará más fluidamente.
 - Paused: Con esta opción definimos si el video, por defecto comienza en pausa. Siempre podemos arrancarlo luego con Lingo.
 - Loop: Con esta propiedad activada el vídeo se reproducirá de forma continua, volviendo al principio cada vez que haya terminado, a no ser que eliminemos esta característica desde Lingo, o volvamos a la ventana Cast para desactivarla.

Opciones:

- Direct To Stage: Es una propiedad por defecto del video. Normalmente el video nunca deja que otro elemento se ponga sobre él, bien sea texto, un gráfico, etc. Si un gráfico pasa por delante del video, el video se pondrá sobre él de forma que no podremos verlo mientras se encuentre en el ámbito del video. Si

desactivamos esta opción, el vídeo dejará pasar sobre él a los demás miembros de la película pero, en contrapartida, funcionará a saltos y de forma poco fluida, por lo que no conviene desactivar esta opción.

- Show Controller: Nos mostrará la barra de progreso de la película QuickTime, mientras funciona en el escenario.
- Video: En este menu tenemos dos opciones:
- Sync to Soundtrack, habilita que QuickTime ajuste el sonido a la imagen, de forma que una no vaya más rápido que la otra.
- Play Every Frame (No Sound), elimina el sonido del video, caso de tenerlo, e inhabilita el intento de QuickTime por sincronizar imagen y sonido, con lo que el video irá más fluido en pantalla.

4.2 MACROMEDIA FREEHAND MX

Macromedia Freehand se utiliza para el diseño gráfico, dibujo de líneas vectoriales en definitiva es perfecto para la creación de imágenes en el caso de nuestro proyecto. Adobe Photoshop está más enfocado a la edición y retoque de imágenes que en nuestro caso no es necesaria.

Por lo tanto la herramienta elegida es **MACROMEDIA FREEHAND MX**.

CARACTERÍSTICAS DE FREEHAND MX

- **Respecto al flujo de trabajo:**

Espacio de trabajo de Macromedia MX

Reduzca el tiempo de aprendizaje y acelere el desarrollo con la nueva interfaz de usuario fácil de usar de Macromedia MX. Diseñe en un espacio de trabajo integrado y flexible que se comparte con todos los productos de Macromedia Studio MX. Los paneles acoplables se pueden agrupar, contraer o expandir según sea necesario, lo cual brinda un flujo de trabajo ininterrumpido y sumamente configurable.

Símbolos gráficos

Los símbolos gráficos le permiten racionalizar la creación y actualización de elementos repetitivos en todos sus diseños. Una vez que haya definido un objeto o un grupo como un símbolo, puede colocar una instancia de ese símbolo en cualquier lugar del documento. Cuando se necesiten hacer modificaciones o actualizaciones, simplemente haga cambios al símbolo y se actualizarán todas las instancias automáticamente. Las

instancias se pueden transformar de forma individual con distintos atributos, tales como efectos, sin romper la relación que tienen con el símbolo principal.

Los símbolos se administran desde el panel Biblioteca. Las bibliotecas de símbolos también se pueden compartir entre varios documentos, lo que permite almacenar elementos de uso frecuente, como logotipos o botones de barras de navegación, para usarlos en todos sus diseños.

Debido a que sólo se almacena una definición de un gráfico, el uso de símbolos en proyectos de Macromedia Flash MX crea archivos SWF más pequeños que se pueden descargar más rápidamente.

Panel Respuestas

Utilice el panel Respuestas, que ahora es una característica estándar en todas las aplicaciones de Macromedia MX, para obtener soporte inmediato, sugerencias y otros valiosos recursos que se encuentran en nuestro sitio web, desde la misma aplicación.

Paneles acopiables

Ahora todos los paneles de FreeHand MX y los cuadros de diálogo no modales comparten un mismo aspecto, funcionamiento y flujo de trabajo que mejora los comportamientos. Los paneles de uso frecuente ahora se pueden acopiar con los conjuntos de paneles estándar para dejarlos abiertos y fuera del área de trabajo, de maneja que sea más fácil personalizar la interfaz y hacer que el espacio de trabajo sea más eficiente.

Vista suavizada

Disfrute de una mejor representación en pantalla predeterminada de objetos vectoriales. FreeHand MX agrega suavizado a los modos de dibujo estándar de Vista previa y Esquema para todos los objetos vectoriales (esta característica no está disponible en Macintosh OS 9.x).

Diseñado para Windows XP

El soporte nativo para Microsoft Windows XP garantiza la compatibilidad con la última versión de la plataforma de Microsoft.

Creado para Mac OS X

FreeHand ha sido una aplicación compatible con OS X desde la versión 10 y está totalmente carbonizada para ofrecer soporte nativo para todas la mejoras a la interfaz de usuario de Macintosh OS X.

- **Respecto al diseño y producción de varias páginas**

Paginas maestras

Las páginas maestras le ayudan a acelerar el flujo de trabajo de composición y producción, mantener la uniformidad de todo un diseño y revisar elementos comunes de composición en todo un proyecto con un solo cambio. Las páginas maestras sirven igualmente bien en los proyectos de impresión de varias páginas que en otras aplicaciones comunes de composición de página, pero también se pueden usar para los fondos de proyectos de Macromedia Flash MX y las presentaciones con navegación mediante clics para la aprobación del cliente.

FreeHand MX le permite definir un número prácticamente ilimitado de páginas maestras en un documento. Las páginas maestras se pueden aplicar o retirar de las páginas en cualquier momento durante el proceso de diseño. Incluso se pueden almacenar en bibliotecas de símbolos y compartir entre varios documentos.

Entorno de varias páginas

El entorno de varias páginas exclusivo de FreeHand MX le permite realizar una mayor cantidad del diseño y la producción en un solo documento. Ya no tendrá que diseñar las distintas partes de un proyecto en varios documentos de una sola página, que no sólo se tienen que administrar sino también abrir uno por uno. Con la posibilidad de tener varias páginas, puede crear varios conceptos de un diseño para un cliente (o diseños de membrete, sobre y tarjeta de presentación) en el mismo archivo, y así sólo tendrá que enviar un archivo a la impresora.

FreeHand MX también ofrece administración de páginas intuitiva, para que pueda racionalizar la producción de cualquier cosa desde guiones para sitios web hasta folletos con gran cantidad de gráficos. Con la herramienta Página, puede trabajar con páginas directamente en el tablero, de la misma manera que lo haría con objetos, y mover, cambiar de tamaño y duplicar páginas sin necesidad de abrir el Inspector de documentos.

Herramienta Líneas de conexión

Utilice la herramienta Líneas de conexión para asignar rápidamente arquitectura de información, flujos de datos y mapas de sitios. Simplemente arrastre la herramienta para asignar relaciones persistentes entre objetos.

Estilos de líneas de conexión

Los estilos de líneas de conexión le permiten personalizar completamente el aspecto de las conexiones, además de aplicar rápidamente varios aspectos para que tengan distintos significados en el mapa. Por ejemplo, una conexión sólida podría representar

el trazado estándar de todo el sitio, mientras que una línea de conexión discontinua podría representar el trazado cuando un usuario no se ha conectado al sitio.

- **Respecto a las herramientas de diseño intuitivas**

Herramienta Extrusión

Cree aspectos 3D fascinantes sin sacrificar la capacidad de edición de la forma original. Con la nueva herramienta Extrusión, puede extender y modificar las extrusiones. Una vez aplicada la extrusión, tendrá control completo de los atributos, incluidos la profundidad de la extrusión, el punto de fuga y la iluminación.

Agregue aún más profundidad y realismo a sus diseños al asignar un punto de fuga compartido a varios objetos extruidos o al agregar un perfil de trazado abierto para darle más forma a una extrusión.

Herramienta Borrador

Utilice la herramienta Borrador para modificar los trazados de manera más orgánica. Elimine porciones de un objeto vectorial pasando la herramienta Borrador de la misma manera que se borran los píxeles en una aplicación de edición de mapas de bits.

Herramienta Fusión

La herramienta Fusión aumenta las ya potentes capacidades de fusión de FreeHand MX al proporcionar funciones de fusión de arrastrar y colocar con comentarios automáticos en pantalla. Simplemente arrastre de un objeto a otro para crear fusiones, o modifique fusiones existentes arrastrando de un punto a otro en un objeto fusionado.

Herramienta Pluma estándar de Macromedia

La herramienta Pluma de FreeHand MX combina los comportamientos estándar de la herramienta Pluma de Macromedia Flash MX y Macromedia Fireworks MX con los comportamientos tradicionales de pluma que conocen los ilustradores con experiencia. La herramienta Pluma ahora también incluye una característica de línea elástica que realiza un vista previa del siguiente segmento de línea a medida que se desplaza la herramienta Pluma dentro del espacio de trabajo.

Herramienta Estilo libre

Trabaje con trazados de manera directa e intuitiva. La herramienta Estilo libre es sobre todo efectiva para crear formas orgánicas al diseñar un objeto sencillo "de forma libre", por ejemplo, un círculo o un rectángulo.

Para los principiantes, la herramienta Estilo libre es una manera más sencilla de aprender acerca de los controles Bezier. La herramienta Estilo libre le permite empujar o tirar de cualquier lugar del trazado para cambiarle de forma o utilizar la opción Remodelar área para tener un control más preciso de la parte que se está cambiando de forma.

Pinceladas y trazos de aerosol basados en símbolos

Logre efectos de ilustración a medida que se puedan actualizar fácilmente. Agregue una instancia o una serie de instancias a lo largo de un trazado y controle su comportamiento. O bien, vaya más allá de un trazado de grosor estándar aplicando un símbolo a un trazado como un solo objeto distorsionado, incluso puede aplicar un aerosol de símbolos al trazado.

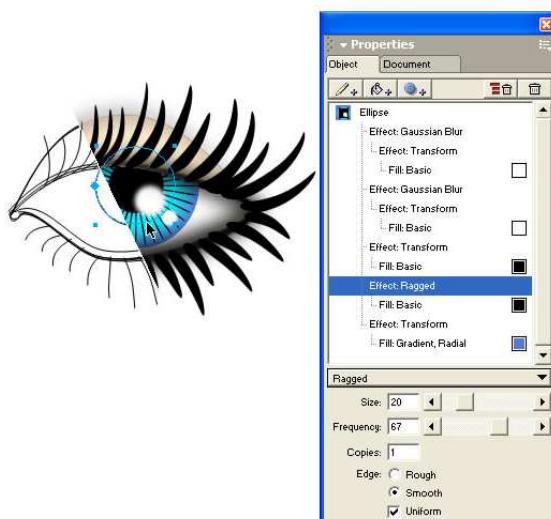
Aplique pinceladas a cualquier trazado de FreeHand MX para distribuir una instancia del símbolo gráfico en el trazado, ya sea repitiendo las pinceladas o expandiéndolas a lo largo del trazado. Puede controlar el comportamiento de las instancias, además de apilar varias instancias en un trazado.

- **Respecto al poder de diseño**

Varios atributos

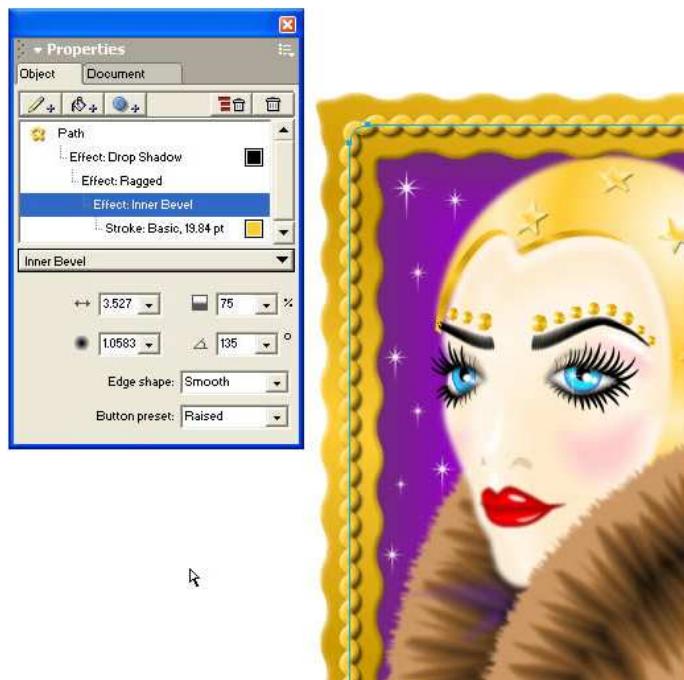
Dale más realce visual a sus diseños e ilustraciones: aplique atributos ilimitados de trazo, relleno y efecto a un solo objeto vectorial o de texto, sin sacrificar la capacidad de edición del objeto base. Con la capacidad de tener varios atributos se elimina la necesidad de apilar duplicados de un objeto para crear un aspecto en particular, lo cual hace que las actualizaciones sean más fáciles y rápidas e incluyan menos objetos.

Incluso se pueden crear atributos sobre grupos y símbolos, y así facilitar y acelerar la aplicación de efectos visuales como desenfoques y sombras en secciones enteras de un diseño a la vez.



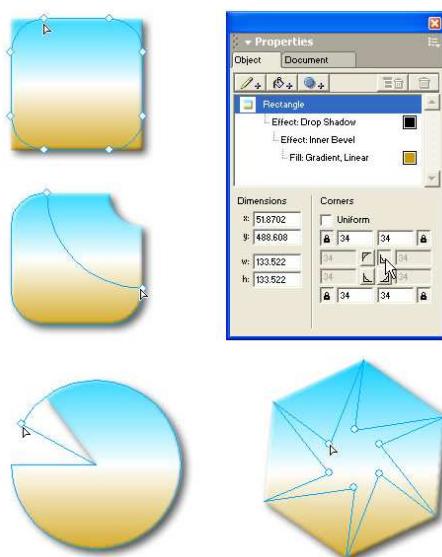
Efectos automáticos

Maximice su expresión creativa con efectos automáticos, que aplican distorsiones complejas y efectos sin modificar el objeto original. FreeHand MX incluye efectos vectoriales como curvar, esbozo y transformar, además de efectos ráster de bisel, sombra y transparencia de degradado. El panel Objeto le da control completo de los efectos, y de todos los atributos de objeto o de atributos seleccionados.



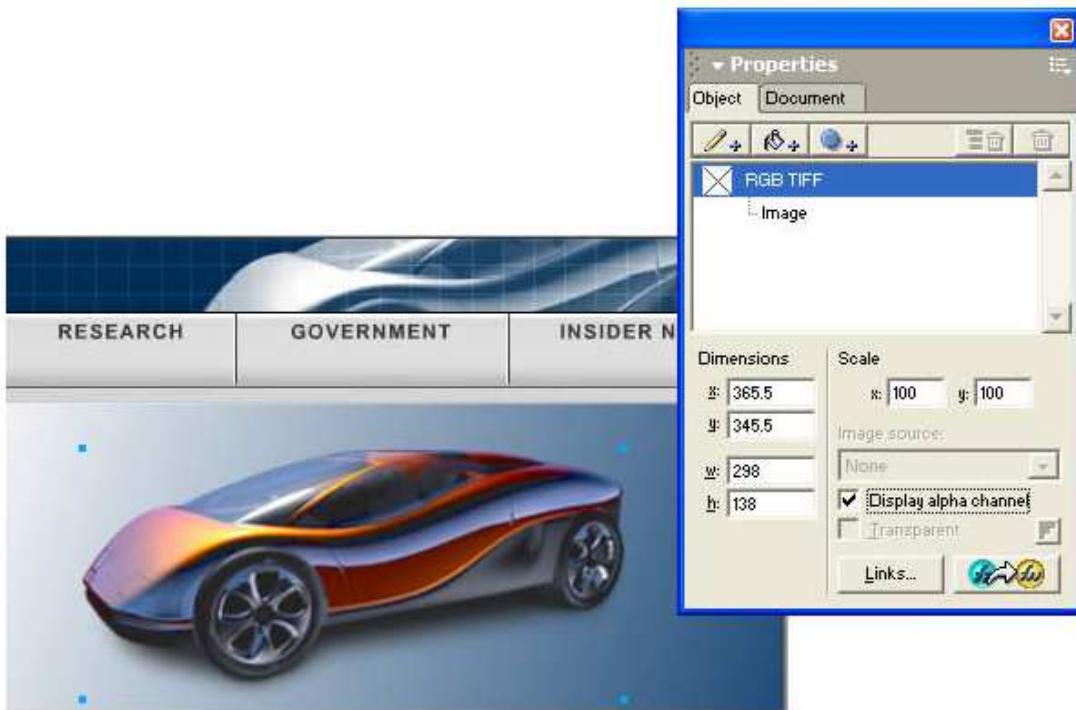
Primitivos gráficos de edición automática

Cambie la forma de rectángulos, elipses y polígonos de manera fácil y rápida sin sacrificar el control y la capacidad de edición de los primitivos gráficos de FreeHand MX. Puede fácilmente redondear las esquinas de los rectángulos o mezclarlas entre cóncavas y convexas, convertir elipses en arcos y cambiar polígonos en estrellas con un número de puntas que se puede editar.



Soporte de canal alfa para la imagen

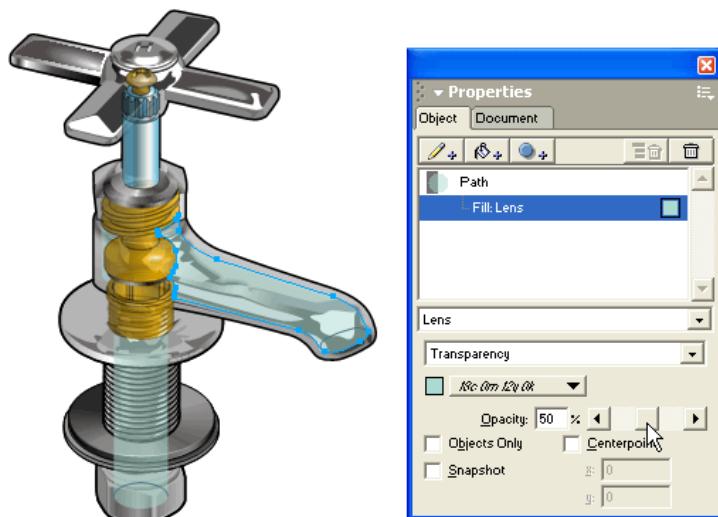
El soporte para canales alfa le permite integrar nítidamente en los diseños imágenes que contienen transparencia. FreeHand MX cuenta con soporte completo para la importación y la presentación de formatos de imagen de 32 bits.



Transparencia de vectores

FreeHand MX fue el primer programa de dibujo de alto nivel basado en PostScript en ofrecer verdaderas capacidades de transparencia dinámicas, y a la vez mantener los documentos en un formato vectorial que se puede editar. Las lentes transparentes son uno de los tipos estándar de relleno que existen en FreeHand MX.

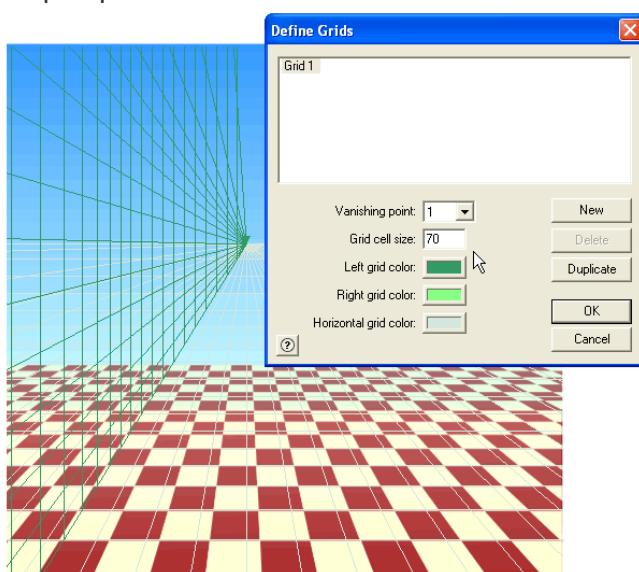
Se pueden definir atributos de transparencia, tales como forma, ubicación, opacidad y color. Cambie dinámicamente el relleno de opacidad y color de un objeto para mostrar los objetos detrás del objeto con relleno de lente. O bien, muestre los efectos de transparencia solamente en las áreas de objeto sobreuestas.



Cuadrícula de perspectiva

FreeHand MX proporciona la mejor manera de representar medios tridimensionales en un entorno de dibujo bidimensional. La cuadrícula de perspectiva pone en perspectiva el arte en sólo unos pocos segundos: simplemente defina guías de cuadrícula de perspectiva de fondo con puntos de fuga y líneas de horizonte infinitamente ajustables, para proporcionar efectos 3D en un entorno de ilustración familiar.

Ajuste cualquier objeto vectorial a la cuadrícula, para crear vistas de perspectiva exactas. Los objetos se adaptan automáticamente a escala a medida que se desplazan hacia el punto de fuga, y cambian de perspectiva a medida que se desplazan hacia arriba y hacia abajo en la cuadrícula. Una vez que los objetos están adjuntos a la cuadrícula, se puede cambiar la composición y la perspectiva de la cuadrícula, y actualizar automáticamente los objetos que se encuentran sobre la misma para que coincidan con la nueva perspectiva.



Transformaciones interactivas

Con FreeHand MX, puede usar selectores basados en objetos para girar, adaptar a escala, sesgar y mover los gráficos directamente, sin tener que seleccionar herramientas diferentes para cada transformación. Para activar los selectores de transformación interactiva, simplemente haga doble clic con la herramienta Puntero en un objeto o en una selección de varios objetos. Cuando termine, haga doble clic otra vez para desactivar los selectores de transformación.

- **Respecto a la productividad**

Panel Objeto

Ahora puede inspeccionar y cambiar rápidamente propiedades de objeto y de texto, tales como trazo, relleno, fuente o efecto, en una ubicación centralizada con el panel Objeto de FreeHand MX. Además, el nuevo panel Objeto proporciona control de apilamiento centralizado de varios atributos para crear aspectos visuales únicos e ilimitados.

También puede arrastrar y colocar entre los paneles Objeto y Estilo para crear, editar y redefinir estilos de gráfico y de texto.

Área de impresión

Utilice la herramienta Área de impresión para definir una sola área para la impresión o exportación dentro del espacio de trabajo de un documento. El área de impresión, que es ideal para revisar porciones de un diseño, puede incorporar áreas seleccionadas de páginas existentes, además de áreas seleccionadas del tablero. Después de definir el área de impresión, se le puede cambiar el tamaño o eliminarla, o ver sus dimensiones en el panel Objeto. Al guardar un documento, el área de exportación se guarda como parte de los atributos del documento.

Intercambiar objeto con símbolo

Seleccione un objeto o una instancia de símbolo y sustitúyalo con un símbolo de la biblioteca.

Mejoras al panel Estilo

Ahora es más fácil que antes aplicar y editar estilos de gráficos y de texto, lo cual acelera la producción de diseños y racionaliza el flujo de trabajo. Utilice la nueva vista Sólo previsualizaciones para acceder a más estilos en una área de pantalla más pequeña.

Los estilos existentes pueden editarse en el panel Objeto, de manera que no es necesario abrir un cuadro de diálogo de edición separado. Simplemente haga clic en el estilo en el panel Estilos y haga sus cambios en el panel Objeto: cambie colores o fuentes, agregue efectos o reorganice los atributos para obtener un nuevo aspecto.

Métodos abreviados de teclado personalizados

Acelere el aprendizaje y la producción con métodos abreviados de teclado personalizados. Ya no es necesario recordar distintos métodos abreviados para acciones parecidas en cada una de las aplicaciones que utiliza. Utilice el conjunto estándar de Macromedia para una mejor integración de FreeHand MX en el flujo de trabajo de Macromedia Studio MX, o bien, personalice sus propios métodos abreviados como desee.

- **Respecto a la animación**

Separar por capas

Cree animación sin una línea de tiempo usando las capas como una serie de fotogramas en una animación. La característica Separar por capas desagrupa fusiones u objetos unidos a un trazado y asigna cada objeto desagrupado a una capa en orden consecutivo.

Utilice Separar por capas en grupos, fusiones, texto y objetos, o en texto adjunto a un trazado.

Efectos de animación

Con la característica Separar por capas, se pueden crear rápidamente animaciones para Macromedia Flash, Macromedia Fireworks, Adobe Photoshop y Adobe AfterEffects con efectos de animación de fotograma por fotograma.

Puede elegir la manera de distribuir los objetos en la capas, según el efecto que deseé crear. Puede hacer secuencias de objetos para crear una animación estándar, añadir para crear un efecto de adición, soltar para crear un efecto de sustracción y arrastrar para crear un efecto de movimiento.

- **Respecto a los efectos**

Rellenos de degradado mejorados

Los nuevos tipos de relleno de degradado y los controles adicionales de FreeHand MX le permiten crear rellenos de aspecto complejo en degradados sencillos. Ahora puede elegir degradados en forma de rectángulo y cono, además de los tipos lineal, radial, logarítmica y contorno estándar.

Si desea más efectos visuales, puede repetir o reflejar un relleno de degradado un número definido de veces dentro del alcance de los selectores de relleno de degradado. O bien, puede elegir tamaño automático para ajustar rápidamente el degradado al ancho y alto del objeto, y actualizarlo automáticamente mientras edita.

Selectores de relleno de degradado

Edite el aspecto de los rellenos de degradado directamente en el espacio de trabajo. Los selectores de relleno de degradado proporcionan control interactivo preciso del degradado directamente en el objeto.

Mejoras al pincel

Dele a sus trazos de pincel un aspecto más fluido y natural. El nuevo atributo de esquinas redondeadas mejora los métodos de pincel de FreeHand MX al ajustarse a las esquinas y ángulos cerrados.

Trazo caligráfico

Cree caligrafía que se puede modificar de prisa. Asigne trazos angulares y con forma a un trazado con este nuevo atributo, y cree una punta ilustrativa y de estilo caligráfico para trazos definidos.

5. EQUIPO NECESARIO

Este CD-MULTIMEDIA DE SENSORES está pensado para trabajar con el sistema operativo que actualmente es el más utilizado, en este caso es Microsoft Windows, ya que se ha creado y desarrollado con Macromedia Director y este programa es compatible con este sistema operativo.

Los requerimientos mínimos para la visualización óptima del CD-ROM son:

- Procesador Intel® Pentium 4 o equivalente a 2GHz (Recomendado 2,4 GHz).
- 0,5 GB de memoria RAM (Recomendada 1GB según versión del SO).
- Microsoft® Windows® XP con Service Pack 2 , Windows Vista o Windows 7.
- 300MB de espacio disponible en el disco duro si se va a producir la copia del CD.
- Disponibilidad de unidad de CD-ROM/DVDROM.
- Tarjeta gráfica y monitor con una resolución mínima de 800x600 píxeles y 256 colores.

Se recomienda para una mejor reproducción del CD MULTIMEDIA copiar el contenido del mismo en el disco duro del ordenador, ya que esto facilitará la lectura de la información. Esta lectura pasará a ser más rápida ya que al cd le cuesta más reaccionar a las acciones iniciadas y de este modo el CD MULTIMEDIA se ejecutará de manera más efectiva.

6. ESQUEMA CD INTERACTIVO

1. MENU PRINCIPAL.

1.1 SENSORES DE CAUDAL

1.1.1 GENERALIDADES Y CUESTIONES TÉCNICAS

1.1.1.1 GENERALIDADES

1.1.1.2 CLASIFICACIÓN

1.1.1.3 CRITERIO DE SELECCIÓN

1.1.2 TIPOS

1.1.2.1 CAUDALÍMETROS INVASIVOS VOLUMÉTRICOS

1.1.2.1.1 CAUDALÍMETROS DE PRESIÓN DIFERENCIAL

1.1.2.1.1.1 PLACAS DE ORIFICIO

1.1.2.1.1.2 TOBERAS

1.1.2.1.1.3 TUBOS VENTURI

1.1.2.1.1.4 TUBO PITOT

1.1.2.1.1.5 TUBO ANNubar

1.1.2.1.1.6 OTROS

1.1.2.1.1.6.1 SECCIONES CENTRÍFUGAS, CODOS, BUCLES

1.1.2.1.2 CAUDALÍMETROS DE ACCIONAMIENTO MECÁNICO

1.1.2.1.2.1 SENSORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

1.1.2.1.2.1.1 PISTON OSCILANTE

1.1.2.1.2.1.2 PISTÓN ALTERNATIVO

1.1.2.1.2.1.3 MEDIDORES ROTATIVOS

1.1.2.1.2.1.4 MEDIDOR DE DISCO OSCILANTE

1.1.2.1.2.1.5 MEDIDOR DE PALETAS DESLIZANTES

1.1.2.1.2.1.6 MEDIDOR DE PAREDES DEFORMABLES

1.1.2.1.2.2 SENSOR DE TURBINA

1.1.2.1.2.3 SENSOR DE HÉLICE

1.1.2.1.2.4 SENSORES DE ÁREA VARIABLE

1.1.2.1.3 SENSORES OSCILATORIOS NO MECÁNICOS

1.1.2.1.3.1 SENSORES CON FORMACIÓN DE TORBELLINOS

1.1.2.1.3.2 SENSORES BASADOS EN EL EFECTO COANDA

1.1.2.1.3.3 MEDIDORES VORTEX

1.1.2.1.4 MEDIDORES DE IMPACTO

1.1.2.2 CAUDALÍMETROS NO INVASIVOS VOLUMÉTRICOS

1.1.2.2.1 CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

1.1.2.2.2 SENSORES DE ULTRASONIDOS Y LÁSER

1.1.2.2.2.1 SENSORES DE SISTEMAS MODULADOS POR

IMPULSOS

1.1.2.2.2 SENSORES DE EFECTO DOPPLER

1.1.2.2.3 OTROS

1.1.2.2.3.1 SENSORES DE FLUJO NUCLEÓNICOS

1.1.2.3 CAUDALÍMETROS MÁSICOS

1.1.2.3.1 SENSORES DE MEDIDA INDIRECTA DE CAUDAL
MÁSICO

1.1.2.3.2 SENSORES DE MEDIDA DIRECTA DE CAUDAL
MÁSICO

1.1.2.3.2.1 CAUDALÍMETROS AXIALES (MOMENTO)

1.1.2.3.2.2 CAUDALÍMETROS TÉRMICOS

1.1.2.3.2.3 CAUDALÍMETROS DE IMPACTO

1.1.2.3.2.4 CAUDALÍMETROS DE EFECTO CORIOLIS

1.1.2.4 CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS

1.1.3 FABRICANTES

1.1.4 CRÉDITOS

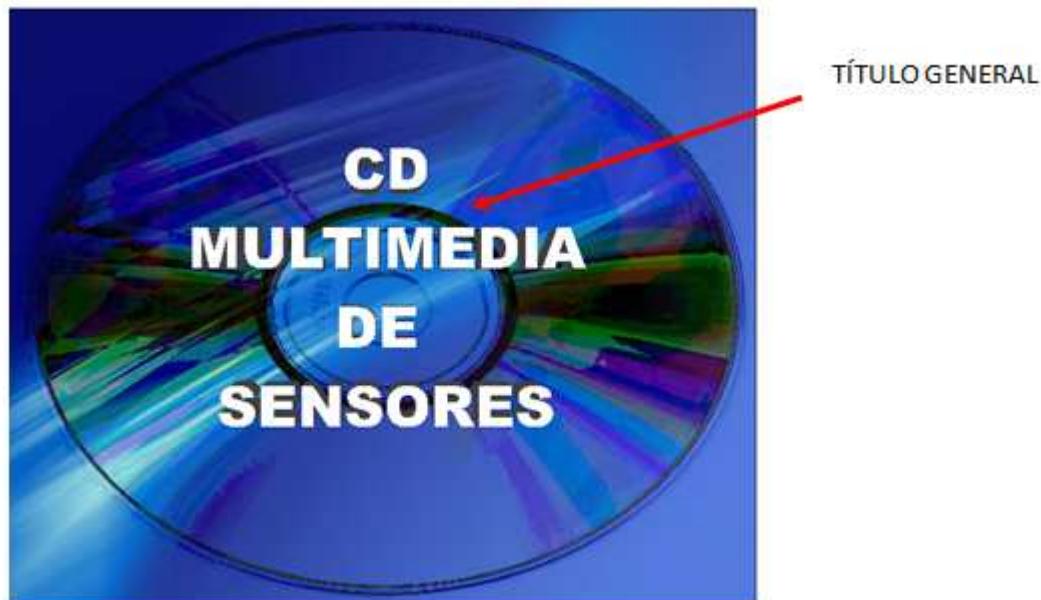
1.1.5 GLOSARIO DE TÉRMINOS

1.2 SENSORES DE LUZ

7. DESCRIPCIÓN DE LAS PANTALLAS

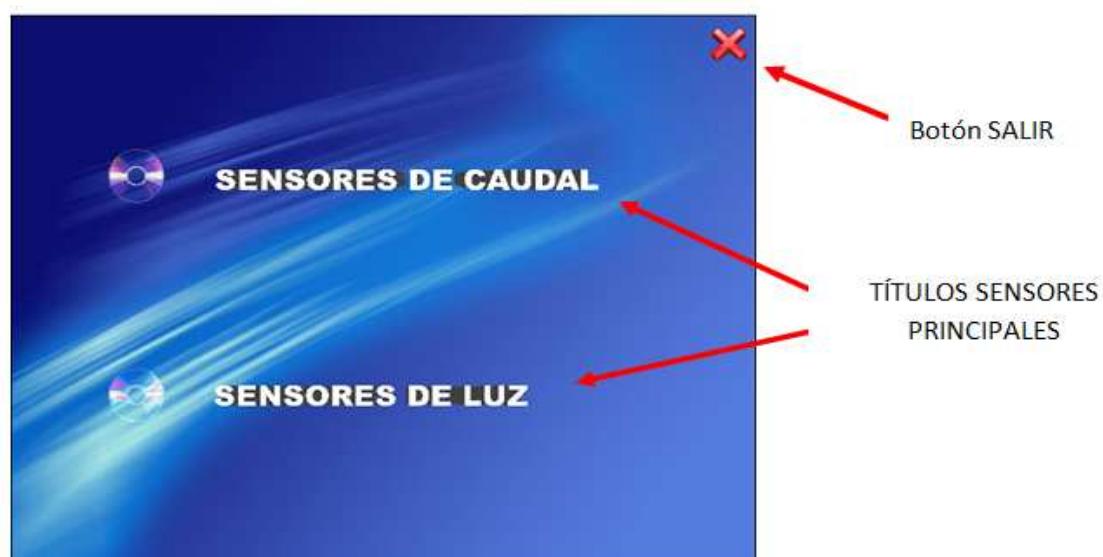
7.1 PANTALLA INICIAL:

Pantalla de inicio del CD Multimedia en la que aparece el título general. Al cliquear sobre el título se accede a la siguiente pantalla.



7.2 PANTALLA PRINCIPAL DE LOS GRANDES TIPOS DE SENSORES

Pantalla donde se muestran los dos grandes tipos de sensores: SENSORES DE CAUDAL y SENSORES DE LUZ. Al cliquear sobre el título de cada uno se accede al menú principal.



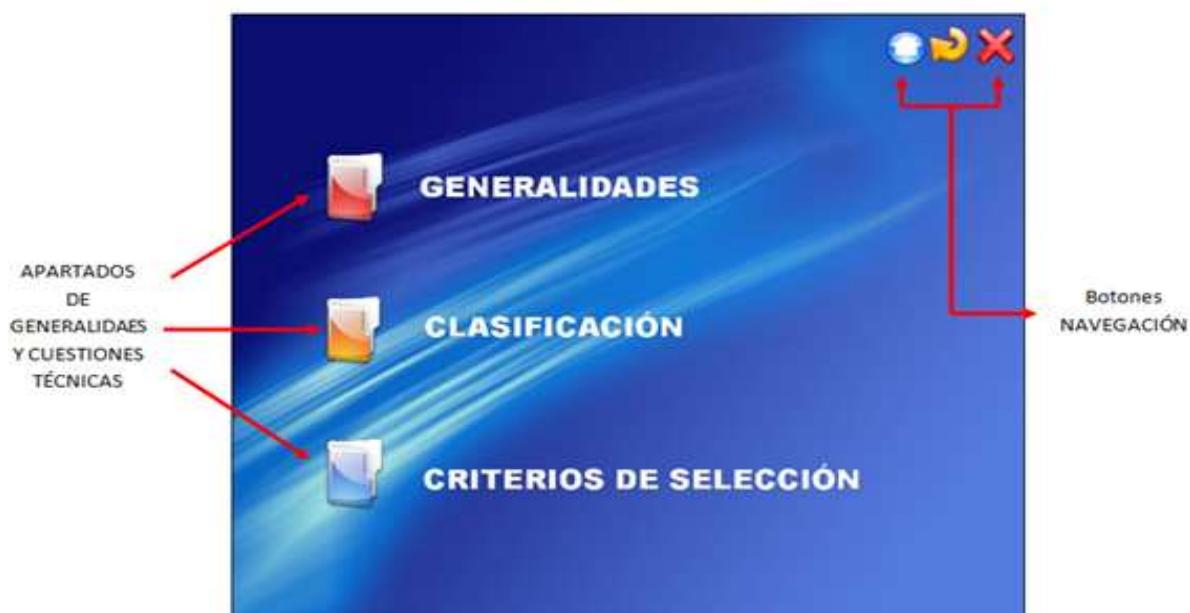
7.3 PANTALLA MENÚ PRINCIPAL

Pantalla en la que se muestran los apartados de: "GENERALIDADES Y CUESTIONES TÉCNICAS", "TIPOS", "FABRICANTES" y "CRÉDITOS". Al cliquear sobre los títulos se accede a los menús de cada apartado.



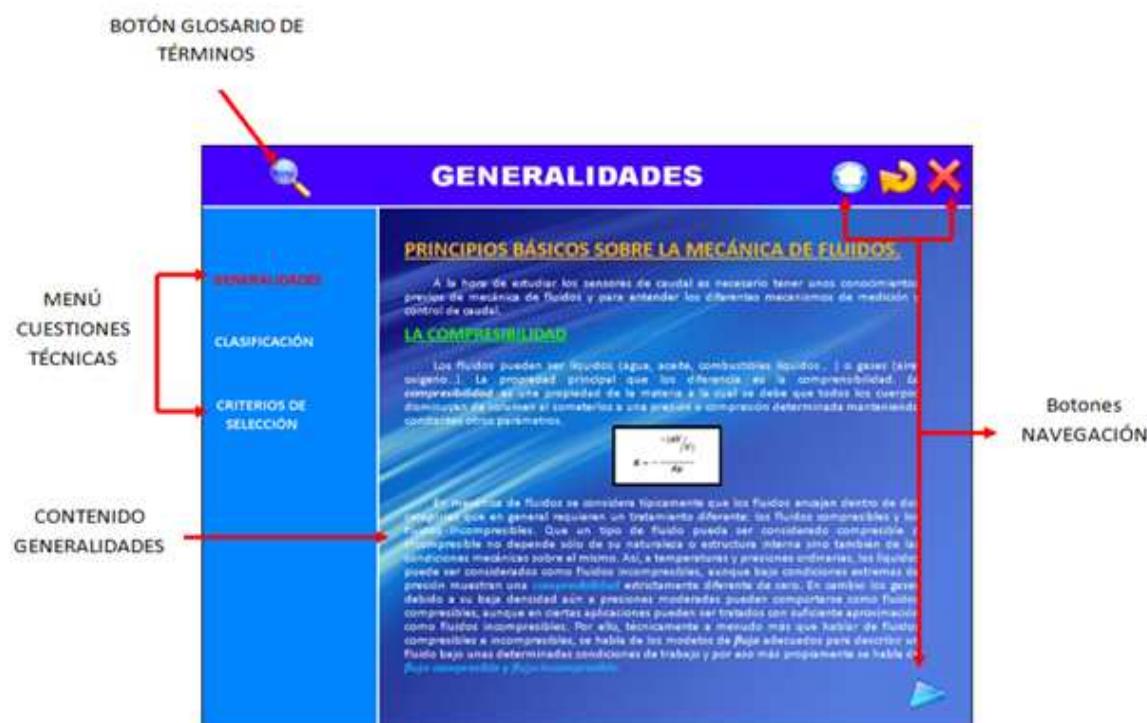
7.4 PANTALLA GENERALIDADES Y CUESTIONES TÉCNICAS

Pantalla en la que se muestran los apartados de: "GENERALIDADES", "CLASIFICACIÓN" y "CRITERIOS DE SELECCIÓN". Al cliquear sobre los títulos se accede al contenido de los mismos.



7.5 PANTALLA GENERALIDADES

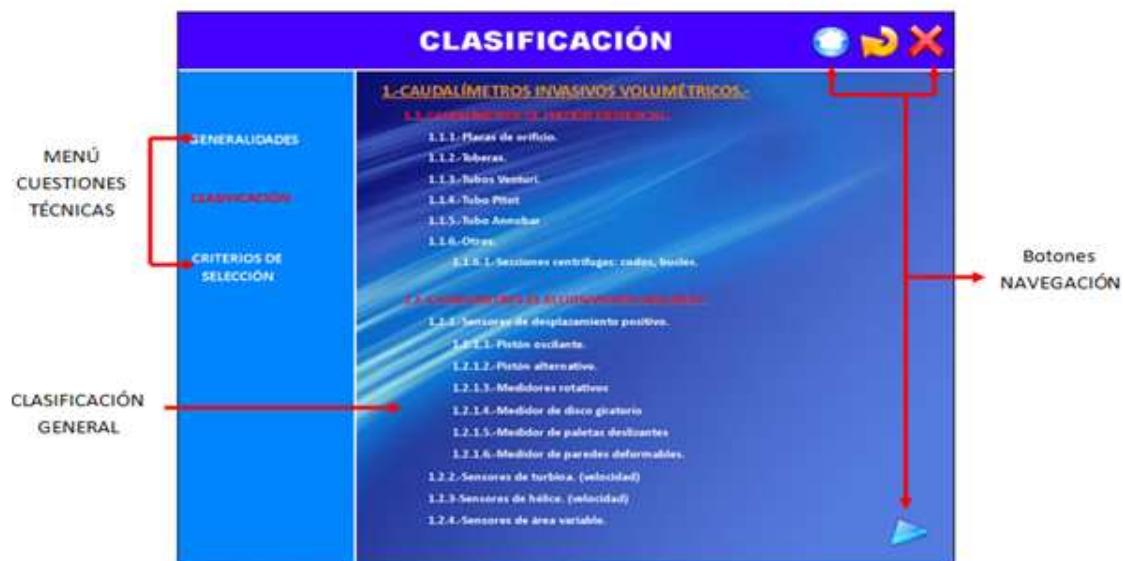
Pantalla a la que se accede tras cliquear el título “GENERALIDADES” de la pantalla “GENERALIDADES Y CUESTIONES TÉCNICAS”. En esta pantalla se muestra la documentación genérica relacionada con los sensores de CAUDAL con el fin de mejorar la comprensión del usuario. El acceso a “CLASIFICACIÓN” y “CRITERIOS DE SELECCIÓN” es inmediato a través del menú de la parte izquierda de la pantalla.



7.6 PANTALLA CLASIFICACIÓN

Pantalla a la que se accede tras cliquear en el título “CLASIFICACIÓN” de la pantalla de “GENERALIDADES Y CUESTIONES TÉCNICAS” o a través del menú de la parte izquierda de la pantalla. En este apartado aparece un listado completo de los sensores de CAUDAL. Cliqueando sobre cada uno de ellos se accede a la pantalla particular de cada sensor o a otra información relativa a varios grupos de ellos.

Tras la clasificación de los sensores de CAUDAL aparece una información relativa a los criterios de clasificación de los sensores de CAUDAL donde se detalla los diferentes criterios que se utilizan para realizar dicha clasificación.



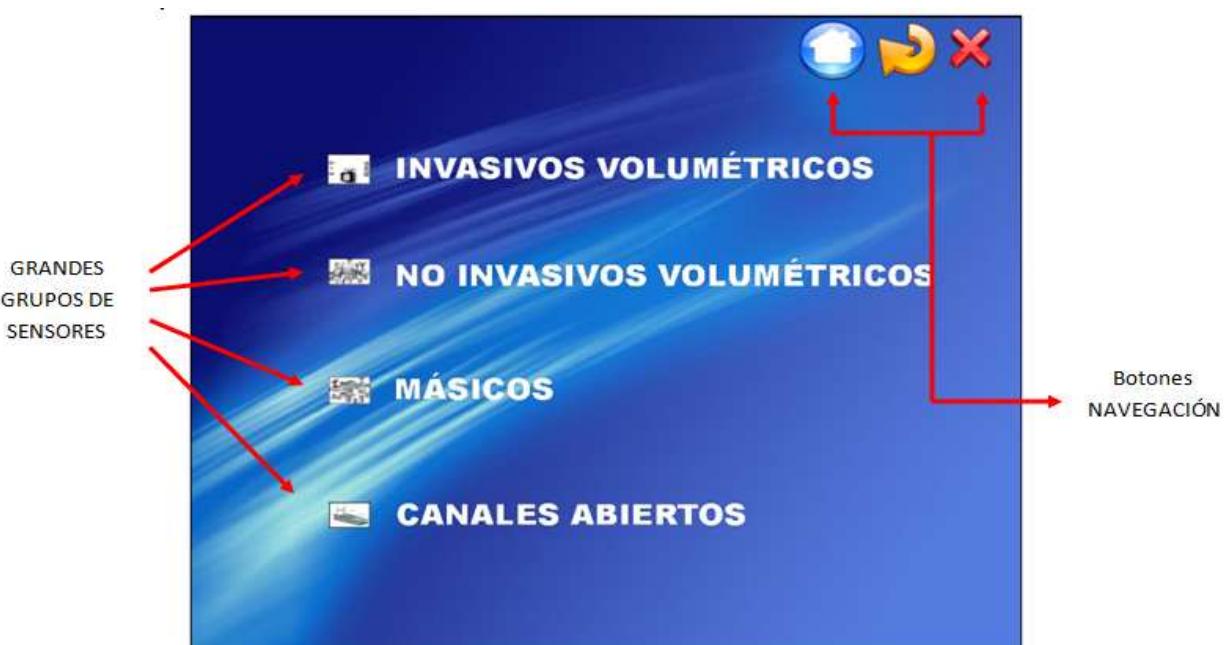
7.7 PANTALLA CRITERIOS DE SELECCIÓN

Pantalla a la que se accede tras cliquear el título “CRITERIOS DE SELECCIÓN” de la pantalla “GENERALIDADES Y CUESTIONES TÉCNICAS”. En este apartado se muestran los diferentes factores que intervienen en la elección de un sensor de CAUDAL.



7.8 PANTALLA GRANDES TIPOS

Pantalla a la que se accede tras cliquear en el título “TIPOS” de la pantalla MENÚ PRINCIPAL. En esta pantalla se muestran los cuatro grandes grupos de tipos de sensores de CAUDAL.



7.9 PANTALLA MENÚ SENSOR PRINCIPAL

Pantalla a la que se accede tras cliquear en uno de los grandes grupos de sensores de CAUDAL (exceptuando “CANALES ABIERTOS” que vincula directamente a la información relativa a dichos sensores). En ella se aprecia un submenú en la parte izquierda de la pantalla para acceder a los diferentes subgrupos de sensores.



7.10 PANTALLA SUBGRUPOS SENSORES

Pantalla a la que se accede a través de la pantalla MENÚ SENSOR PRINCIPAL. En esta pantalla se muestran los sensores pertenecientes a los diferentes subgrupos así como un título introductorio en algunos casos. Cliqueando sobre el título correspondiente de cada uno se accede a la información particular de cada uno de ellos o a la información introductoria en algunos casos.



7.11 PANTALLA INTRODUCCIÓN SUBGRUPO SENSORES

Pantalla a la que se accede a través de la pantalla anterior al cliquear sobre un título introductorio de un subgrupo de sensores si existe tal. Aparece información que comparten varios sensores de un mismo subgrupo. Por ejemplo “Introducción a sensores de presión diferencial”.



7.12 PANTALLA INFORMACIÓN DEL SENSOR

Pantalla a la que se accede también a través de la pantalla SUBGRUPO SENSORES o de manera directa a través de “CLASIFICACIÓN” y en la que aparece la información relativa a cada sensor en particular a través de diversas pestañas que pueden ser hasta cuatro: “Descripción y características”, “Características constructivas”, “Ventajas e inconvenientes” y “Aplicaciones”. Cliqueando sobre cada una de ellas se accede a la correspondiente información relativa al sensor.



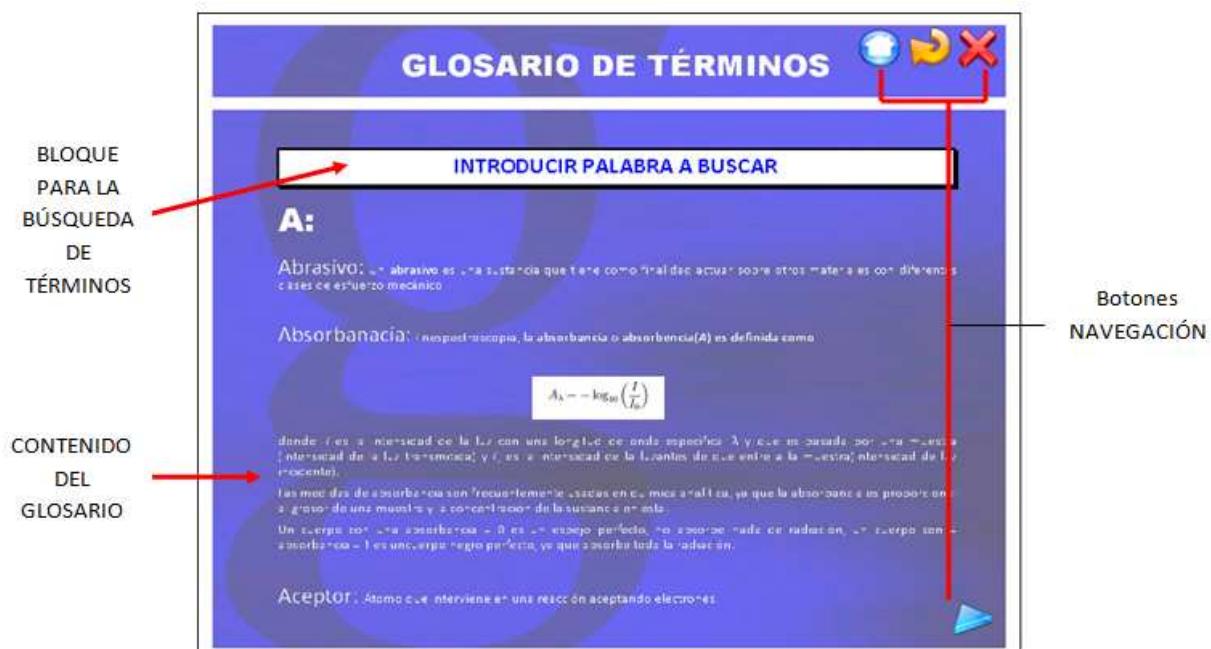
7.13 PANTALLA FABRICANTES

Pantalla a la que se accede tras cliquear sobre el título “FABRICANTES” de la PANTALLA MENÚ PRINCIPAL, que muestra logotipos de diversos fabricantes. Cliqueando sobre cada uno de ellos se accede a la página web correspondiente de cada fabricante.



7.14 PANTALLA GLOSARIO DE TÉRMINOS

Pantalla a la que se accede tras cliquear sobre el botón de búsqueda. Muestra todo el Glosario de Términos pudiendo buscar el término deseado o simplemente desplazándose mediante las flechas de navegación.



7.15 BOTONES DE NAVEGACIÓN

7.15.1 BOTON INICIAL

Botón INICIAL de color azul y con forma de casa que aparece en el lado superior derecho de todas las pantallas, y al cliquear sobre él te lleva a la PANTALLA PRINCIPAL DE LOS GRANDES TIPOS DE SENSORES.



7.15.2 BOTÓN SALIR

Botón SALIR de color rojo y con forma de cruz, que aparece en el lado superior derecho de todas las pantallas junto al botón inicial y al cliquear sobre él se pone fin a la presentación.



7.15.3 BOTÓN ANTERIOR

Botón ANTERIOR de color amarillo y con forma de flecha redondeada, que aparece en el lado superior derecho de todas las pantallas junto al botón inicial y botón salir y al cliquear sobre él apareces en la pantalla anterior a la que se está visualizando.



7.15.4 BOTÓN DERECHO

Botón DERECHO de color azul y con forma de flecha hacia la derecha, que aparece en el lado inferior derecho de las pantallas cuyas informaciones estén desplegadas en varias de ellas.



7.15.5 BOTÓN IZQUIERDO

Botón IZQUIERDO de color azul y con forma de flecha hacia la izquierda, que aparece en el lado inferior derecho de las pantallas cuyas informaciones estén desplegadas en varias de ellas.



7.15.6 BOTÓN GLOSARIO DE TÉRMINOS

Botón GLOSARIO DE TÉRMINOS muestra el símbolo de una lupa, que aparece en el lado superior izquierdo de las pantallas en las que se encuentra la información general y la información concreta de cada tipo de sensores. Clickeando sobre él se accede al glosario de términos en la que se puede realizar la búsqueda del significado de los mismos.



8. DOCUMENTACIÓN SENSORES

8.1 INTRODUCCIÓN

Un sensor es cualquier dispositivo que detecta una determinada acción externa. Los sensores existen desde siempre, y nunca mejor dicho, porque el hombre los tiene incluidos en su cuerpo y de diferentes tipos. El hombre experimenta sensaciones como calor o frío, duro o blando, fuerte o flojo, agradable o desagradable, pesado o no. Y poco a poco le ha ido añadiendo adjetivos a estas sensaciones para cuantificarlas como frígido, fresco, tibio, templado, caliente, tórrido. Es decir, que día a día ha ido necesitando el empleo de magnitudes medibles más exactas entre las que encontramos entre muchas de ellas a:

- LUZ a través de los OJOS
- TEMPERATURA a través del TACTO
- OLOR a través de la NARIZ
- PRESIÓN a través del CUERPO
- SONIDO a través de los OÍDOS

El mayor desarrollo de los sensores se consiguió en el ámbito militar, con una clara aplicación bélica. Durante la Segunda Guerra Mundial el uso de sensores se extendió por primera vez más allá de un laboratorio e incluso se reveló como determinante en la resolución del conflicto, ya que la superioridad técnica de los sistemas británicos y norteamericanos frente a los alemanes fue clave en ciertas victorias del bando aliado.

En la década de los sesenta se mostró un constante crecimiento en el uso de los sensores, muchos de los cuales fueron desarrollados para paliar las necesidades de la industria aeroespacial. Esta tendencia continuó durante los años setenta, el desarrollo de nuevos sensores creó nuevas técnicas de detección y metodologías en la adquisición de datos y la correspondiente visualización. Un nuevo empujón sobre el desarrollo llegó con la concienciación ecológica por parte de los gobiernos, con nuevos sensores para el control de diversos tipos de polución.

8.2 TIPOS DE CLASIFICACIONES DE SENSORES

A pesar de que pueden existir decenas de clasificaciones para los sensores, solo se nombrarán algunas de ellas.

En función de la **magnitud física** que miden se pueden enumerar las siguientes:

- Temperatura
- Humedad

- Presión
- Caudal
- Posición
- Movimiento
- Luz
- Imagen
- Corriente
- Conductividad
- Resistividad
- Biométricos
- Acústicos
- Aceleración
- Velocidad
- Inclinación
- Químicos

Según el **tipo de funcionamiento**.

- Deflexión: la medida se realiza rompiendo una situación de equilibrio.
- Comparación: la medida se realiza alcanzando una situación de equilibrio.

Según la **relación entrada-salida**

- Orden de la función de transferencia (1º, 2º, etc.)

En función del **tipo de señal de entrada**:

Los sensores pueden ser clasificados dependiendo del tipo de señal al cual responden.

- **Mecánica:** Ejemplos: longitud, área, volumen, masa, flujo, fuerza, torque, presión, velocidad, aceleración, posición, acústica, longitud de onda, intensidad acústica.
- **Térmica:** Ejemplos: temperatura, calor, entropía, flujo de calor.
- **Eléctrica:** Ejemplos: voltaje, corriente, carga, resistencia, inductancia, capacitancia, constante dieléctrica, polarización, campo eléctrico, frecuencia, momento dipolar.
- **Magnética:** Ejemplos: intensidad de campo, densidad de flujo, momento magnético, permeabilidad.
- **Radiación:** Ejemplos: intensidad, longitud de onda, polarización, fase, reflectancia, transmitancia, índice de refractancia.
- **Química:** Ejemplos: composición, concentración, oxidación/potencial de reducción, porcentaje de reacción, PH.

Atendiendo al **tipo de señal entregada** por el sensor:

- **Sensores análogos.**

La gran mayoría de sensores entregan su señal de manera continua en el tiempo. Son ejemplo de ellos los sensores generadores de señal y los sensores de parámetros variables.

- **Sensores digitales.**

Son dispositivos cuya salida es de carácter discreto. Son ejemplos de este tipo de sensores: codificadores de posición, codificadores incrementales, codificadores absolutos, los sensores autoresonantes (resonadores de cuarzo, galgas acústicas, cilindros vibrantes, de ondas superficiales (SAW), caudalímetros de vórtices digitales), entre otros.

Atendiendo a la naturaleza de la señal eléctrica generada:

Los sensores dependiendo de la naturaleza de la señal generada pueden ser clasificados en:

- **Sensores pasivos:**

Son aquellos que generan señales representativas de las magnitudes a medir por intermedio de una fuente auxiliar. Ejemplo: sensores de parámetros variables (de resistencia variable, de capacidad variable, de inductancia variable).

- **Sensores activos o generadores de señal:**

Son aquellos que generan señales representativas de las magnitudes a medir en forma autónoma, sin requerir de fuente alguna de alimentación. Ejemplo: sensores piezoelectrómicos, fotovoltaicos, termoeléctricos, electroquímicos, magnetoeléctricos.

8.3 SENSORES DE CAUDAL

GENERALIDADES

PRINCIPIOS BÁSICOS SOBRE LA MECÁNICA DE FLUIDOS

A la hora de estudiar los sensores de caudal es necesario tener unos conocimientos previos de mecánica de fluidos para entender los diferentes mecanismos de medición y control de caudal.

LA COMPRESIBILIDAD

Los fluidos pueden ser líquidos (agua, aceite, combustibles líquidos...) o gases (aire, oxígeno...). La propiedad principal que los diferencia es la compresibilidad. **La compresibilidad** es una propiedad de la materia a la cual se debe que todos los cuerpos disminuyan de volumen al someterlos a una presión o compresión determinada manteniendo constantes otros parámetros.

$$K = -\frac{-(dV/V)}{dp}$$

K = Coeficiente de compresibilidad.

V = Volumen.

p = presión.

En mecánica de fluidos se considera típicamente que los fluidos encajan dentro de dos categorías que en general requieren un tratamiento diferente: **los fluidos compresibles y los fluidos incompresibles**. Que un tipo de fluido pueda ser considerado compresible o incompresible no depende sólo de su naturaleza o estructura interna sino también de las condiciones mecánicas sobre el mismo. Así, a temperaturas y presiones ordinarias, los líquidos pueden ser considerados como fluidos incompresibles, aunque bajo condiciones extremas de presión muestran una compresibilidad estrictamente diferente de cero. En cambio los gases debido a su baja densidad aún a presiones moderadas pueden comportarse como fluidos compresibles, aunque en ciertas aplicaciones pueden ser tratados con suficiente aproximación como fluidos incompresibles. Por ello, técnicamente a menudo más que hablar de fluidos compresibles e incompresibles, se habla de los modelos de **flujo** adecuados para describir un fluido bajo unas determinadas condiciones de trabajo y por eso más propiamente se habla de **flujo compresible y flujo incompresible**.

El caso que se estudia es el de fluidos en movimiento, ya que la medición se realiza al caudal de fluido que circula.

LA VISCOSIDAD

Hay otra propiedad en los fluidos que nos da una medida de su resistencia a la deformación, y por lo tanto al movimiento, que es la **viscosidad**. La viscosidad es una variable que representa el rozamiento interno del fluido. Existen dos tipos de viscosidad, la viscosidad cinemática y la viscosidad dinámica. En la medición mediante caudalímetros volumétricos se suele emplear la viscosidad dinámica, mientras que en los viscosímetros convencionales se mide la viscosidad cinemática.



Figura 1. Fluido viscoso.

Ambas están relacionadas:

Viscosidad dinámica (μ) = ViscoViscosidad cinemática (v) · densidad (ρ):
unidad en el S.I **1 Poise (P)= Pa·s (N s /m²)**

Viscosidad cinemática: unidad en el S.I = **m^2/s**

Por último, se debe distinguir entre los diferentes tipos de movimiento de fluidos:

- Flujo laminar:** Flujo ordenado y predecible. El movimiento se produce en capas o láminas, las soluciones matemáticas son factibles.
- Flujo turbulento:** El movimiento de las partículas individuales es aleatorio e impredecible.

CAUDAL Y NECESIDAD DE MEDIR EL CAUDAL

DEFINICIÓN DE CAUDAL

En dinámica de fluidos, **caudal** es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Puede distinguirse entre **caudal volumétrico** y **caudal másico**.

El **caudal volumétrico** se define como el caudal para el que la cantidad de fluido se expresa bajo la forma de un volumen. La unidad en el S.I del caudal volumétrico es **m^3/s** , aunque frecuentemente se usan también el **l/h** o el **m^3/h** .

El **caudal másico** se define como el caudal para el que la cantidad de fluido se expresa bajo la forma de una masa. La unidad en el S.I. del caudal másico es **Kg/s**.

NECESIDAD DE LA MEDIDA DE CAUDAL

La medición del caudal de fluidos constituye uno de los aspectos más importantes del control de procesos industriales. De hecho, probablemente sea la variable del proceso que se mide con mayor frecuencia. Existen varios métodos confiables y precisos para medir el flujo. Algunos son aplicables solamente a líquidos, otros solamente a gases y vapores; y otros a ambos. El fluido a medir puede ser limpio o “sucio”, seco o húmedo, erosivo o corrosivo. Las condiciones del proceso tales como presión, temperatura, densidad, viscosidad, etc., pueden variar.

Las aplicaciones más habituales de la medición de caudal en la industria son:

- Medida de las cantidades de gases o líquidos utilizados en un proceso dado.
- Control de cantidades adicionales de determinadas sustancias aportadas en fases del proceso.
- Mantenimiento de proporción dada entre dos fluidos.
- Medida de reparto de vapor en una planta, etc...

FACTORES QUE INFUEN EN EL CAUDAL

Los principales factores que influyen en el caudal de un fluido que circula por una tubería son:

- Velocidad del fluido.
- Rozamiento del fluido con el tubo o fricción del fluido en contacto con la tubería.
- Viscosidad del fluido.
- Densidad del fluido.

- La temperatura
- La presión

La velocidad del fluido depende de la presión que le empuja por la tubería. Manteniendo constantes los demás factores, cuanto mayor sea esa presión, más alta será la velocidad de circulación y por lo tanto mayor será el caudal volumétrico. El diámetro de la tubería también afecta al caudal. Si se duplica, por ejemplo, el diámetro de la tubería, se multiplica por cuatro la capacidad potencial de caudal en la misma.

El caudal también se ve afectado por el tipo de flujo, **laminar o turbulento** que circula por la tubería.

El **rozamiento** con las paredes de la tubería reduce la velocidad el fluido por las zonas próximas a las mismas. Cuanto más larga, limpia y menos rugosa sea una tubería, menor será el efecto del rozamiento sobre la velocidad media del fluido.

Otro de los factores que influyen negativamente en la velocidad es la **viscosidad**. La viscosidad refuerza el efecto de rozamiento con la tubería reduciendo aún más la velocidad del fluido en las zonas próximas a las paredes. La viscosidad varía con los cambios de temperatura, pero no siempre de forma predecible. En caso de líquidos, la viscosidad normalmente disminuye al aumentar la temperatura. Sin embargo, en determinados fluidos, puede aumentar la viscosidad cuando se superan ciertos valores de temperatura.

La **densidad** influye en el caudal ya que un fluido denso requiere mayor fuerza de empuje para mantener un mismo caudal de paso. Debido a que los gases son compresibles y los líquidos no, se precisan, por lo general, métodos distintos para la medición de líquidos, gases y líquidos que arrastren gases.

Varios de los factores anteriores que influyen en el caudal de un fluido, se correlacionan entre sí y pueden expresarse en forma de un parámetro sin dimensiones llamado **número de Reynolds**.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES DE CAUDAL.

Los caudalímetros son instrumentos de medición que indican el caudal medido. Están formados por un **elemento primario** que determina el caudal a medir y un **elemento secundario o transmisor** que recibe la señal del elemento primario, la visualiza, la registra, la trata, y la transmite para obtener el valor del caudal.

Los caudalímetros tienen una serie de características que los definen. Algunas de estas características son comunes a todos los sensores en general. Estas características pueden ser eléctricas (impedancia de entrada, impedancia de salida, consumo de corriente y señal de salida), operativas (precisión, repetibilidad, linealidad, histéresis...) y ambientales (temperatura, humedad...).

En cuanto al fluido a medir es necesario tener en cuenta una serie de características a la hora de determinar cual es el caudalímetro más adecuado:

-Temperatura y presión del fluido: Es necesario saber cuales son los valores máximos y mínimos de estos dos parámetros a la hora de elegir un caudalímetro apropiado.

-Tipo de fluido: Es importante saber si el sensor es apropiado para líquidos, para gases o para ambos tipos de fluido.

-Qmax/Qmín: Cociente entre el caudal máximo y mínimo que se puede medir con el sensor. También llamado **rangeabilidad**. También cabe considerar el caudal máximo, el caudal mínimo y el caudal nominal para cada caudalímetro.

-Densidad: La variación de la densidad de un fluido puede hacer interesante la medida del caudal másico, a menos que se conozca cómo varía la propia densidad.

-Pérdida de carga: Caída de presión entre la entrada y la salida del sensor debido a la obstrucción que produce el propio sensor al paso del fluido cuyo caudal se mide.

-Conductividad eléctrica: Característica de cada material que mide la facilidad con la que circula la corriente en el propio material. En el caso de los sensores de caudal electromagnéticos, esta característica es importante ya que en éstos se exige unas condiciones mínimas de conductividad para el fluido.

-Diámetro nominal del sensor: Es el diámetro a través del cual pasa el fluido por el sensor. Normalmente coincide aproximadamente con el diámetro interno de la tubería, pero es posible incorporar elementos reductores en la tubería para poder usar el diámetro nominal del sensor más favorable para un determinado rango de medida. Para cada caudalímetro en particular, y en función del diámetro nominal, quedan definidas unas dimensiones concretas (longitudes y peso).

CRITERIOS DE SELECCIÓN

FACTORES PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO DE MEDIDOR DE FLUIDO

Rango: Los medidores disponibles en el mercado pueden medir flujos desde varios mililitros por segundo (ml/s) para experimentos precisos de laboratorio hasta varios miles de metros cúbicos por segundo (m^3/s) para sistemas de irrigación de agua o agua municipal o sistemas de drenaje. Para una instalación de medición en particular, debe conocerse el orden de magnitud general de la velocidad de flujo así como el rango de las variaciones esperadas.

Exactitud requerida: Cualquier dispositivo de medición de flujo instalado y operado adecuadamente puede proporcionar una exactitud dentro del 5 % del flujo real. La mayoría de los medidores en el mercado tienen una exactitud del 2% y algunos dicen tener una exactitud de más del 0.5%. El costo es con frecuencia uno de los factores importantes cuando se requiere de una gran exactitud.

Pérdida de presión: Debido a que los detalles de construcción de los distintos medidores son muy diferentes, éstos proporcionan diversas cantidades de pérdida de energía o pérdida de presión conforme el fluido corre a través de ellos. Excepto algunos tipos, los medidores de fluido llevan a cabo la medición estableciendo una restricción o un dispositivo mecánico en la corriente de flujo, causando así la pérdida de energía.

Tipo de fluido: El funcionamiento de algunos medidores de fluido se encuentra afectado por las propiedades y condiciones del fluido. Una consideración básica es si el fluido es un líquido o un gas. Otros factores que pueden ser importantes son la viscosidad, la temperatura, la corrosión, la conductividad eléctrica, la claridad óptica, las propiedades de lubricación y homogeneidad.

Calibración: Se requiere de calibración en algunos tipos de medidores. Algunos fabricantes proporcionan una calibración en forma de una gráfica o esquema del flujo real versus indicación de la lectura. Algunos están equipados para hacer la lectura en forma directa con escalas calibradas en las unidades de flujo que se deseen. En el caso del tipo más básico de los medidores, tales como los de cabeza variable, se han determinado formas geométricas y dimensiones estándar para las que se encuentran datos empíricos disponibles. Estos datos relacionan el flujo con una variable fácil de medición, tal como una diferencia de presión o un nivel de fluido.

8.3.1 CAUDALÍMETROS INVASIVOS VOLUMÉTRICOS

8.3.1.1 CAUDALÍMETROS DE PRESIÓN DIFERENCIAL

INTRODUCCIÓN

Los sensores de presión diferencial son los más usados para la medición de caudales en la industria, por ser bastante simples y baratos. El sistema de medida de caudal consta fundamentalmente de dos elementos:

-**Elemento primario** perpendicular al fluido, donde se desarrolla la diferencia de presión.

-**Elemento secundario** o transductor de diferencia de presión que produce la señal de salida. Los elementos secundarios pueden ser de tipo seco o húmedo. En los de tipo húmedo, el mercurio se utiliza como fase de separación entre las dos secciones. En los de tipo seco, es un diafragma el que separa las dos secciones. El error en la medida de estos dispositivos está entre el 0.2 y el 1% del valor máximo de presión.

La medición de flujo se realiza comúnmente forzando al fluido a fluir dentro de un tubo con restricciones de manera que la velocidad cambia en cada punto y se crea una diferencia de presión proporcional al flujo.

$$Q = k\sqrt{\Delta P}$$

Toda vez que el caudal es proporcional a la raíz cuadrada de la diferencia de presiones, se añade al montaje, normalmente, un “extractor de raíz cuadrada, en forma electrónica o electromecánica”. El transductor de presión puede ir instalado de manera separada, conectándose a los puntos sensores de presión mediante tubos, también puede ir montado de manera integrada al dispositivo sensor. Se añaden elementos destinados a refinar los datos presentes en la señal de salida, como transductores de temperatura y de presión absoluta. El cálculo de las velocidades volumétricas o de masa se lleva a cabo frecuentemente por microprocesadores.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Si consideramos un fluido que avanza por el interior de una tubería, la relación entre la presión diferencial y la velocidad puede deducirse de la ecuación de Bernouilli. Para un fluido ideal e incomprensible, en el que no hay diferencia entre los valores de densidad entre dos secciones distintas, se cumplirá:

$$\rho_{f1} = \rho_{f2} = \rho_f$$

$$Q_1 = Q_2 ; v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

$$P_1 + \rho_f \cdot \frac{v_1^2}{2} + \rho_f \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \rho_f \cdot \frac{v_2^2}{2} + \rho_f \cdot g \cdot h_2$$

h = Altura respecto a una línea de referencia.

P = Presión estática absoluta (Pa = N/m²).

ρ_f = Densidad del fluido (Kg/m³).

Q = Caudal(m³/s)

A = Sección recta de la tubería(m²)

Los valores con subíndice 1 se refieren al fluido aguas arriba de la reducción de sección, que provoca su aceleración, y los valores con subíndice 2 al fluido aguas abajo de dicha sección. La velocidad del fluido será mayor en la sección 2 que en la 1 debido a la aceleración que sufre el fluido.

Si suponemos que no hay diferencia de alturas entre las secciones 1 y 2, podremos escribir las anteriores ecuaciones de la forma:

$$\frac{\Delta P}{\rho_f} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \cdot v_1 = \frac{v_2 \cdot A_2}{A_1}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right] \cdot \rho_f}}$$

Suponiendo una distribución de velocidades uniforme en la sección, multiplicaremos la velocidad por el área de la sección recta:

$$q_v = \int_0^{A_2} v_2 \cdot \bar{n} \cdot da = v_2 \cdot A_2 = A_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{[1 - \beta^4] \cdot \rho_f}}$$

$\beta = \frac{d}{D}$: Relación de diámetros de las secciones, consideradas circulares.

d = Diámetro del orificio en m.

D = Diámetro interior de la tubería aguas arriba en m.

q_v = Caudal volumétrico.

El caudal másico, q_m , será el producto de la anterior expresión por la densidad:

$$q_m = \rho_f \int_0^{A_2} v_2 \cdot \bar{n} \cdot da = v_2 \cdot A_2 = A_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P \cdot \rho_f}{[1 - \beta^4]}}$$

En las expresiones anteriores se han hecho una serie de simplificaciones que hacen que el valor real de caudal se desvíe del teórico, por lo que será necesario introducir dos términos correctores: El coeficiente de descarga y el factor de expansión del gas.

El coeficiente de descarga, C_d , que considera la pérdida de energía asociada a la presión a través del caudalímetro. Se determina empíricamente, y se define como el cociente entre el caudal real y el caudal teórico, donde el caudal real se calcula midiendo el tiempo que tarda en llenarse un determinado recipiente.

$$C_d = \frac{\text{Caudal real}}{\text{Caudal teórico}}$$

Este coeficiente es función del perfil de velocidades en las secciones de la tubería, estando estos perfiles ligados a un parámetro adimensional característico de los fluidos atravesando recintos cerrados, el número de Reynolds, R_D .

$$R_D = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{\rho \cdot V \cdot d}{\mu}$$

ρ = Densidad del fluido (kg/m³)

μ = Viscosidad absoluta (kg/m · s)

V = Velocidad media del fluido (m/s)

d = diámetro de la tubería (m)

El número de Reynolds caracteriza el tipo de flujo que existe en el interior de la tubería. Este puede ser laminar o turbulento:

El flujo laminar está caracterizado por números de Reynolds menores de 2300, y el perfil de velocidades es parabólico.

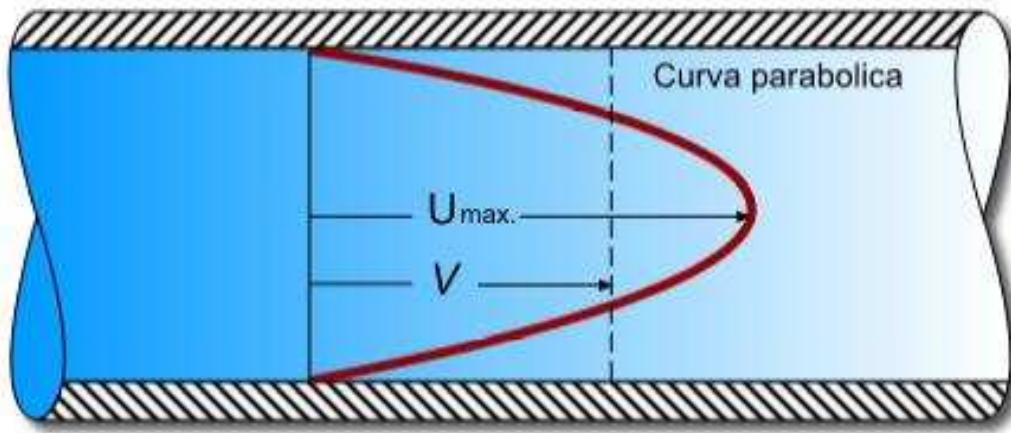


Figura 1. Flujo laminar.

El flujo turbulento tiene asociados números de Reynolds mayores de 2300, siendo el perfil de velocidades más plano que el correspondiente al flujo laminar para un mismo caudal.

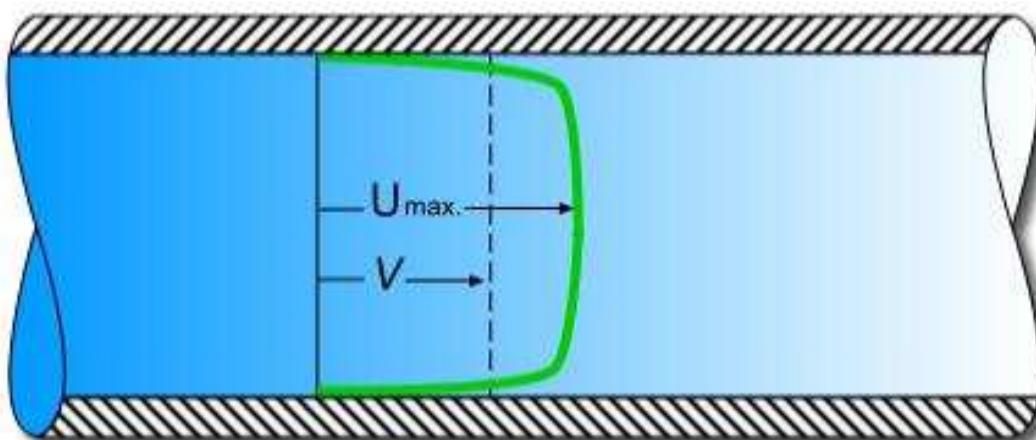


Figura 2. Flujo turbulento.

Experimentalmente se obtiene la siguiente expresión para el coeficiente de descarga, en función del número de Reynolds y de un parámetro b que depende de la relación de diámetros β .

$$C_d = C_\infty + \mathbf{b} \cdot \mathbf{R}_D^n$$

Las expresiones que se utilizan comúnmente para algunos de los caudalímetros de presión diferencial son:

Placa de orificio:

$$Cd = 0,5959 + 0,0312 \cdot \beta^{2,1} - 0,184 \cdot \beta^8 + 0,0029 \cdot \beta^{2,5} \cdot \left(\frac{10^6}{R_D}\right)^{0,75} + \left(\frac{2,286}{D}\right) \cdot \frac{\beta^4}{1-\beta^4} \cdot \left(\frac{0,85598}{D}\right) \cdot \beta^3$$

Tobera:

$$Cd = 0,99 - 0,2262 \cdot \beta^{4,1} + (0,000215 - 0,001125 \cdot \beta + 0,00249 \cdot \beta^{4,7}) \cdot \left(\frac{10^6}{R_D}\right)^{1,15}$$

Tubo Venturi:

$$Cd = 0,9858 - 0,196 \cdot \beta^{4,5}$$

La aproximación de que la densidad se mantenga constante a través de las secciones del caudalímetro no es válida cuando nos encontramos con fluidos compresibles como el aire, el nitrógeno, etc. En estos casos la densidad decrece cuando el gas se expande hacia la presión menor medida aguas abajo. Para considerar este efecto se introduce **el factor de expansión del gas, Y_1** , definido como el cociente entre el caudal real del gas y el medido mediante las ecuaciones obtenidas para líquidos.

$$Y_1 = \frac{\text{Caudal real del gas}}{\text{Caudal teórico del gas calculado como líquido}}$$

Donde el subíndice 1 indica que el factor de expansión del gas se ha calculado a partir de la densidad del gas aguas arriba, y el subíndice 2 si se ha calculado a partir de la densidad aguas abajo. La relación entre ambos viene dada por la expresión

$$Y_2 = \left[1 - \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \cdot Y_1$$

Las expresiones para el caudal una vez corregidas quedan de la siguiente forma:

$$q_v = A_2 \cdot Cd \cdot Y_1 \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{[1 - \beta^4] \cdot \rho_{f1}}} = A_2 \cdot Cd \cdot Y_2 \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{[1 - \beta^4] \cdot \rho_{f2}}}$$

$$q_m = A_2 \cdot Cd \cdot Y_1 \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P \cdot \rho_{f1}}{[1 - \beta^4]}} = A_2 \cdot Cd \cdot Y_2 \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P \cdot \rho_{f2}}{[1 - \beta^4]}}$$

Los sensores de caudal que utilizan la diferencia de presión como principio de medida, ocasionan una pérdida de presión no recuperable inferior a la ocasionada por la restricción, la cual en caso de ser necesario debe ser compensada para retomar las condiciones originales del sistema:

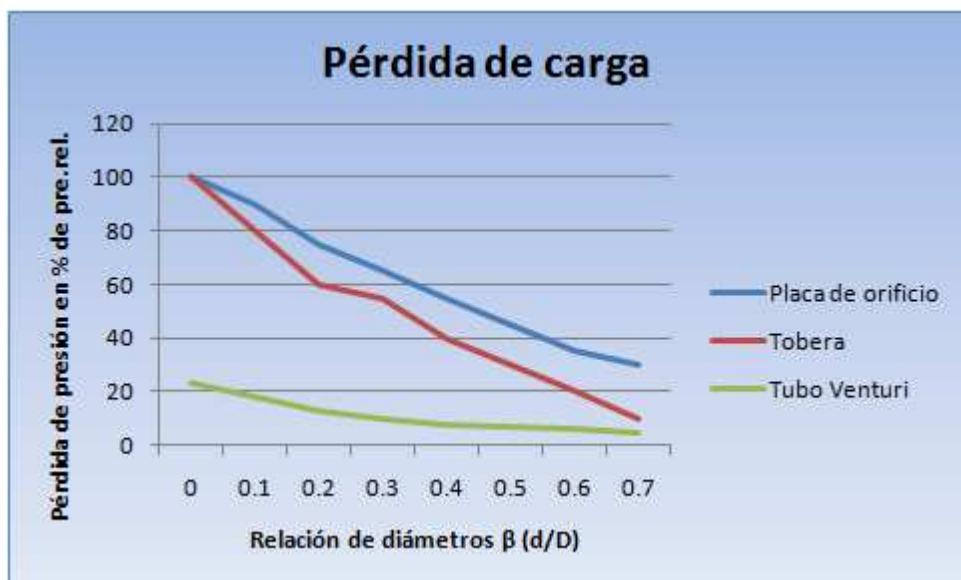


Figura 3. Gráfica (Pérdida de presión (%), relación de diámetros (β)).

CONSIDERACIONES

Los accesorios como codos y válvulas producen perturbaciones en el flujo que afectan a la medida, por ello es necesario mantener una sección recta alrededor de 5 a 30 D, variable en función del caudalímetro empleado.

A la hora de dimensionar el caudalímetro, es fundamental tener en cuenta los efectos de **cavitación**. La cavitación es la ebullición del fluido a temperatura ambiente debido a una disminución de su presión por debajo de la presión de vapor. La cavitación puede provocar ruido, destruir las tuberías, reducir el flujo, etc. El número adimensional asociado con la cavitación es

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot (P_{f2} - P_{v2})}{\rho_f \cdot v_{f2}^2}$$

con

P_{f2} = presión estática del fluido en el punto de máxima velocidad (Pa)

P_{v2} = presión de vapor del fluido en el punto de máxima velocidad (Pa)

ρ_f = densidad del fluido (kg/m³)

V_{f2} = velocidad máxima del fluido (m/s)

Cuando la presión aguas abajo se recupera rápidamente, s_c para cavitación incipiente varía entre 1.0 y 2.5; en el caso de venturis varía entre 0.2 y 0.5.

8.3.1.1.1 PLACAS DE ORIFICIO

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

La **placa de orificio** o diafragma es un instrumento de **presión diferencial** que consiste en una chapa con orificio central. Se coloca perpendicular al paso del fluido, generando una caída de presión. La corriente que pasa a través del orificio forma una vena contracta, originando un aumento de la velocidad y una disminución de la presión del flujo aguas abajo del orificio.

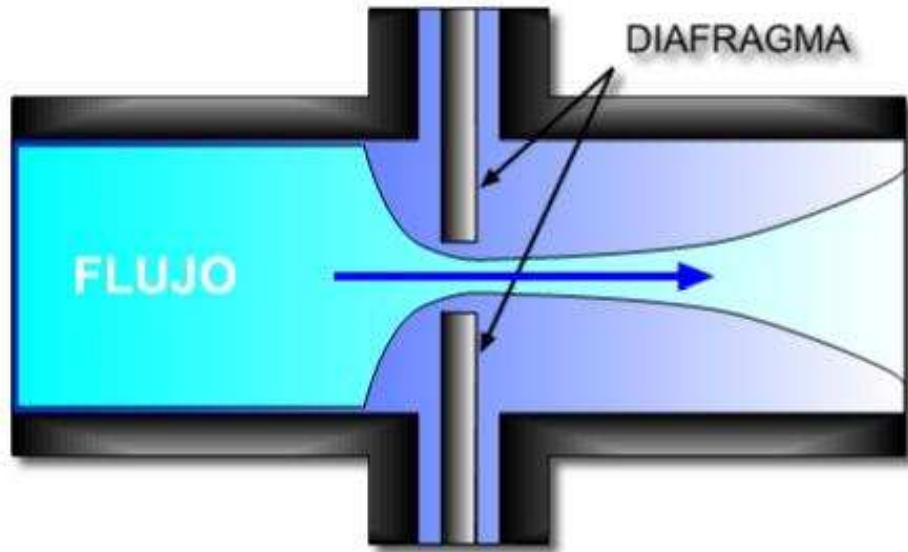


Figura 1. Placa de orificio o diafragma.

Las pérdidas de presión provocadas por una placa de orificio son mayores que las que se producen en una tobera y mucho mayores que las producidas en un tubo venturi.

La precisión de una placa de orificio está entre el 0,8 y el 5%, dependiendo del fluido, de la forma de la tubería aguas arriba y el **número de Reynolds**. El máximo valor de éste no debe superar $3,3 \cdot 10^7$.

En las placas de orificio, β queda definido como la relación entre el diámetro del orificio y el diámetro de la tubería; su valor suele estar entre 0,2 y 0,75 para tuberías entre 2" y 3".

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

TIPOS DE ORIFICIO

El orificio practicado en la placa puede ser de varias formas:

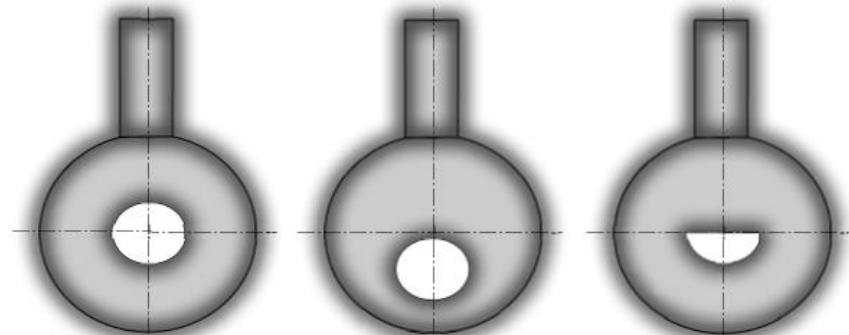


Figura 2. Tipos de orificio: (a) concéntrico; (b) excéntrico; (c) segmental.

-Concéntrico: El orificio practicado en la placa es circular y concéntrico a la tubería donde se realiza la medición. Se utiliza principalmente para la medición de fluidos limpios, de baja viscosidad; para la mayoría de los gases y vapor a baja velocidad. (*Figura 2a.*)

-Excéntrico: El orificio practicado es circular, pero no concéntrico a la tubería donde se realiza la medición. Se utiliza para la medición los gases donde los cambios de presión implican condensación, cuando los fluidos contienen un alto porcentaje de gases disueltos. (*Figura 2b.*)

-Segmental: El orificio practicado constituye un segmento de circunferencia concéntrico a la tubería donde se realiza la medición. Se utiliza principalmente para la medición de fluidos o gases con impurezas no abrasivas (barros ligeros). (*Figura 2c.*)

Con el fin de evitar el arrastre de sólidos o gases que pueda llevar el fluido, la placa incorpora unos pequeños orificios de purga.

DISPOSICIÓN DE LAS TOMAS DE PRESIÓN

Para captar la presión diferencial que origina la placa es necesario conectarla a dos tomas, una en la parte anterior y otra en la parte posterior.

-Tomas en brida: Las tomas están taladradas sobre las bridas que soportan la placa y están situadas a una distancia de 1 pulgada de la misma. Su instalación es cómoda y no es necesario ninguna operación de agujereado adicional. Se utiliza en tuberías con diámetros de 2 pulgadas y superiores. (*Figura 3.*)

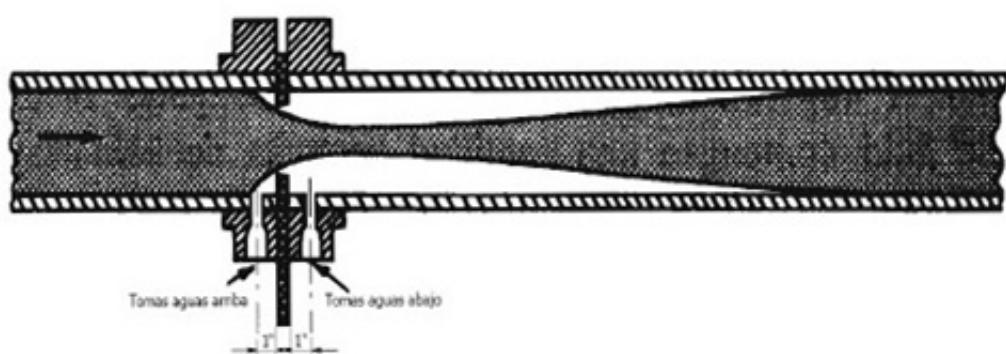


Figura 3. Tomas en brida. Imagen tomada de
<http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc16.htm>

-Tomas en vena contracta: La toma de alta presión está situada a una distancia de 1 D (D= diámetro nominal de la tubería) aguas arriba de la placa y la toma de baja presión está situada en el punto donde la vena alcanza su diámetro más pequeño. Dicho punto depende del parámetro β , aunque se presenta aproximadamente a 0,5 D de la tubería. Se utiliza en tuberías con β no elevado, evitando así interferencias entre la brida y la toma aguas abajo. (**Figura 4.**)

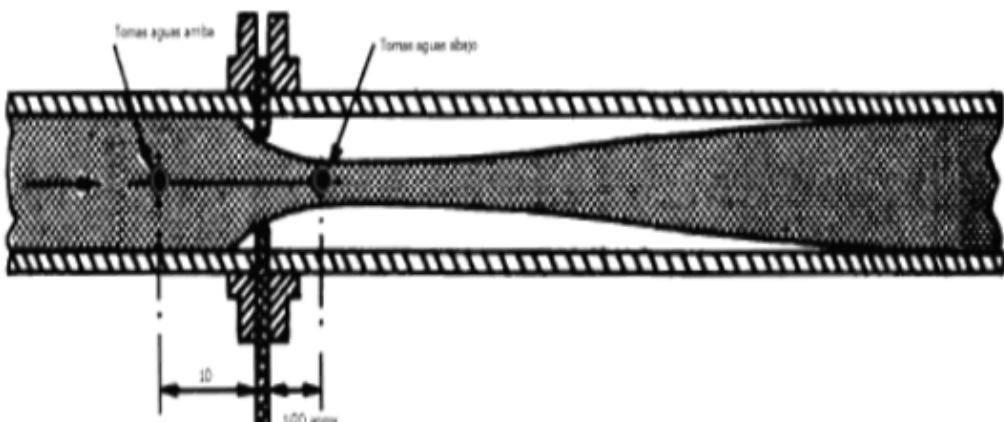


Figura 4. Tomas en vena contracta. Imagen tomada de <http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc16.htm>

-Tomas en la tubería: La toma de alta presión está situada a 2,5 D aguas arriba de la placa y la toma de baja presión está situada a 8D aguas debajo de la placa. Su instalación requiere grandes tramos rectos anterior y posterior. El error probable de la medida con este tipo de tomas es aproximadamente un 50% mayor que con tomas en las bridas y en la vena contracta. (**Figura 5.**)

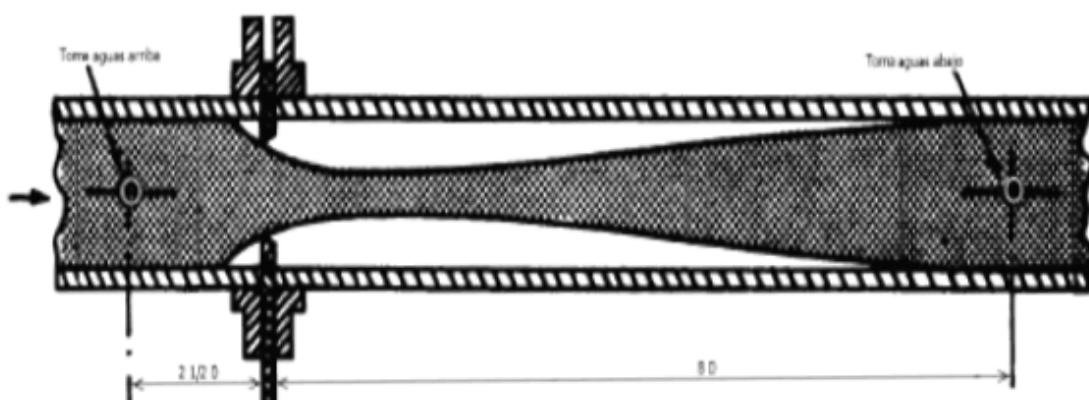


Figura 5 Tomas en la tubería . Imagen tomada de <http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc16.htm>

-Tomas en la cámara anular: Las tomas están situadas inmediatamente antes y después de la placa y requiere el empleo de una cámara anular especial. Se emplean mucho en Europa.

TIPOS DE PERFIL DEL ORIFICIO

En este tipo de medidores existen diversos perfiles de orificio de la placa: Perfil cónico, cuarto de círculo, cuadrado y de entrada cónica. (**Figura 6.**) La placa de orificio de perfil cuadrado presenta la ventaja de permitir la medida de caudal en ambas direcciones con las tomas en brida.

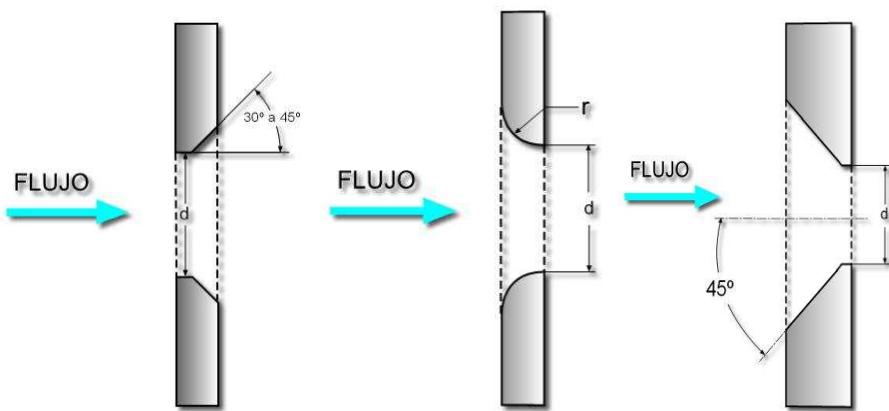


Figura 6. Tipos de perfil de orificio: (a) perfil cónico, (b) cuarto de círculo, (c) entrada cónica.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Bajo coste.
- Elemento sencillo de fabricación y facilidad de montaje.
- Amplia difusión: El 50% de los medidores de caudal utilizados en la industria son Placas de orificio.

INCONVENIENTES

- La señal de salida no es lineal con el caudal.
- Poca variación del rango: No apto para caudales muy variables.
- Pérdida de carga permanente (del 35% al 95%) de la presión diferencial.
- Error máximo del 2%
- Se puede obstruir y reducir el diámetro del orificio. Para evitarlo, se utilizan orificios excéntricos y segmentales.
- No aconsejable para fluidos con sólidos en suspensión.

Aplicaciones

La placa de orificio se usa para la medida de gases, vapores, fluidos corrosivos y no corrosivos especialmente en tuberías grandes.



Figura 7. Imagen tomada de www.siemens.es

8.3.1.1.2 TOBERAS

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

La tobera presenta una entrada en curva que se prolonga en un cuello cilíndrico originando un angostamiento de la sección de forma gradual. Se forma entre dos pestañas y presenta normalmente un perfil en cuarto de elipse. La descarga de flujo es paralela a la línea central del tubo y en dirección a la sección de salida.

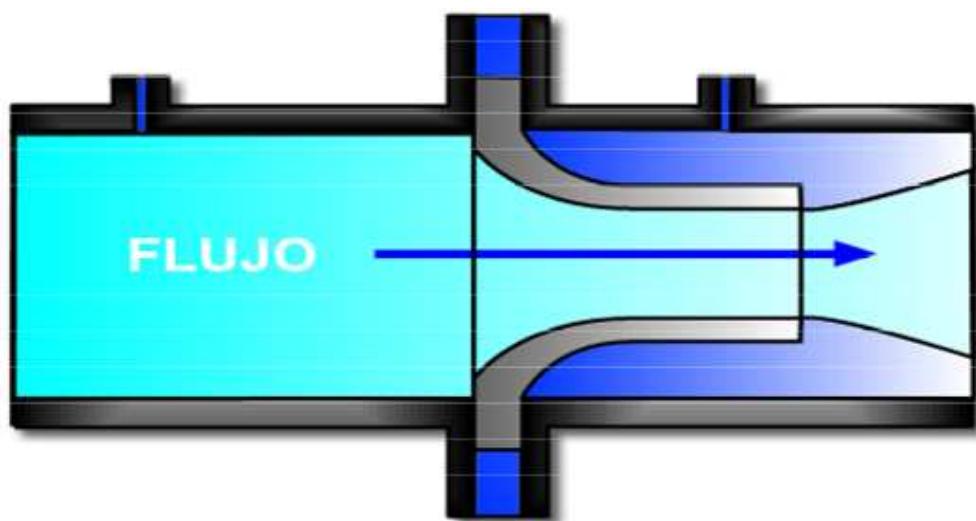


Figura 1. Tobera.

La tobera permite medir caudales un 60% superiores a los realizados con placa de orificio en las mismas condiciones de servicio. Su pérdida de presión es de 30% a 80% de la presión diferencial, inferior a la de la **placa de orificio** pero superior a la del tubo **Venturi**.

Su coste es de 8 a 16 veces el de la placa de orificio y su precisión es del orden de $\pm 0,95$ a $\pm 1,5\%$.

El parámetro β se establece entre 0,2 y 0,7 para tuberías entre 2" y 3".

Puede emplearse para fluidos que arrastren sólidos en pequeña cantidad, si bien, si estos sólidos son abrasivos, pueden afectar a la precisión del elemento. Es apropiada en situaciones de turbulencia alta ($R_D > 50.000$), tal como flujo de vapor a altas temperaturas.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

DISPOSICIÓN DE LAS TOMAS DE PRESIÓN

Al igual que ocurre en la placa de orificio, para captar la presión diferencial originada por la tobera es necesario conectarla a dos tomas, una en la parte anterior y otra en la parte posterior.

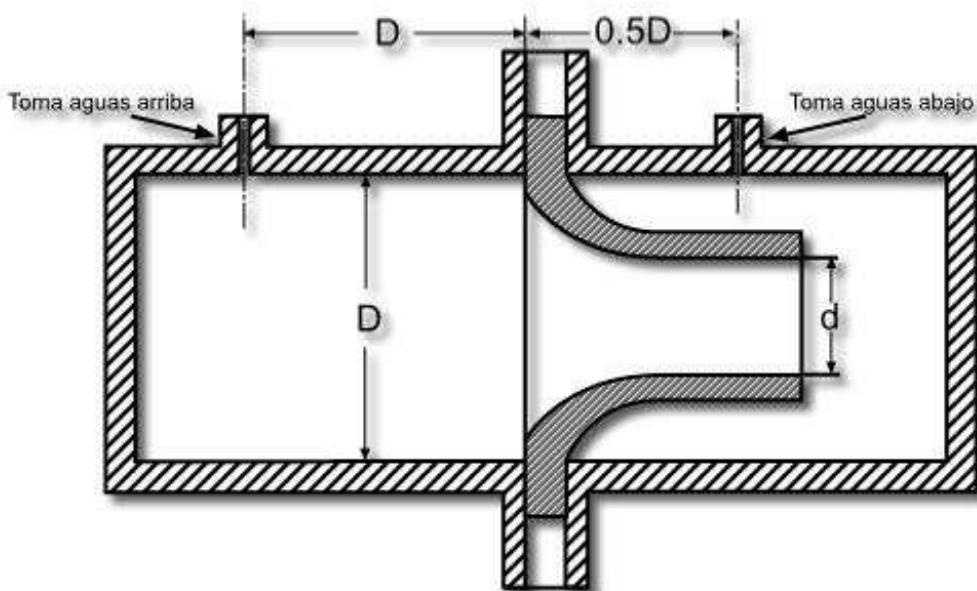


Figura 2. Disposición de las tomas de presión.

La toma anterior está situada a una distancia de 1 D aguas arriba de la entrada de la tobera, mientras que la toma posterior está situada a 0,5 D aguas abajo de la entrada a la tobera. (**Figura 2.**)

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Menor coste que el tubo Venturi.
- Mayor rango de caudales que la placa de orificio.
- Altas presiones y temperaturas.
- Puede utilizarse para fluidos que arrastren sólidos en pequeñas cantidades.
- Debido a su perfil redondeado es menos propensa a la obstrucción por lo cual tiene un mayor tiempo de vida útil.
- La pérdida de presión permanente es menor que la placa de orificio, aunque mayor que el tubo Venturi.

INCONVENIENTES

- Mayor coste que la placa de orificio.
- No se pueden desmontar con facilidad (su extracción es mucho más dificultosa que la de las placas de orificio), a no ser que se monten sobre un carrete de tubería.
- No permiten el drenaje de la tubería si se montan en una línea horizontal.

APLICACIONES

La tobera se usa generalmente para la medición del flujo de gases, vapores y fluidos agresivos y no agresivos, especialmente para presiones y temperaturas altas.

8.3.1.1.3 TUBOS VENTURI

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El tubo Venturi está caracterizado por su entrada convergente y salida divergente, formando un estrechamiento central y dos secciones cónicas empalmadas con el conducto. Se inserta en la tubería como si fuera un tramo de la misma permitiendo su instalación en todo tipo de tuberías mediante bridas de conexión adecuadas.

El tubo Venturi, al igual que la **tobera**, permite medir caudales un 60% superiores a los realizados con **placa de orificio** en las mismas condiciones de servicio. Su pérdida de presión oscila entre 10% y 20% de la presión diferencial, muy inferior a la de la placa de orificio y la tobera.

Su coste es del orden de 20 veces el de una placa de orificio. Su precisión es de 0,75% aproximadamente.

El parámetro β se establece entre 0,2-0,75 siendo el valor más común 0,5.

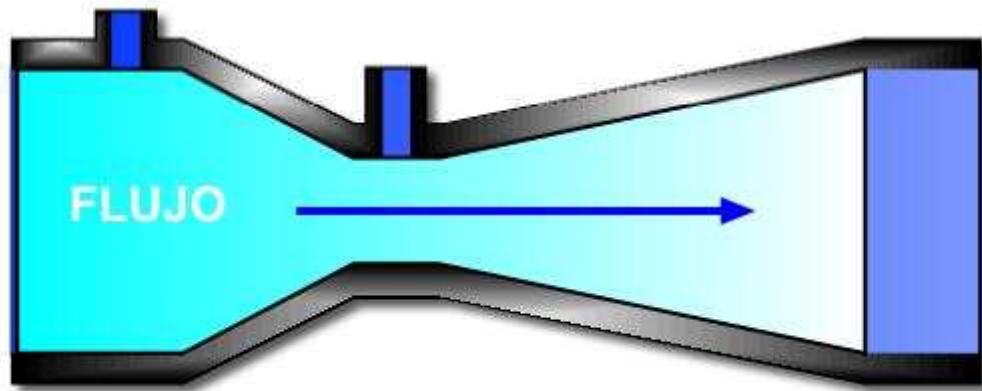


Figura 1. Tubo Venturi.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

En el tubo Venturi se pueden destacar cuatro partes fundamentales:

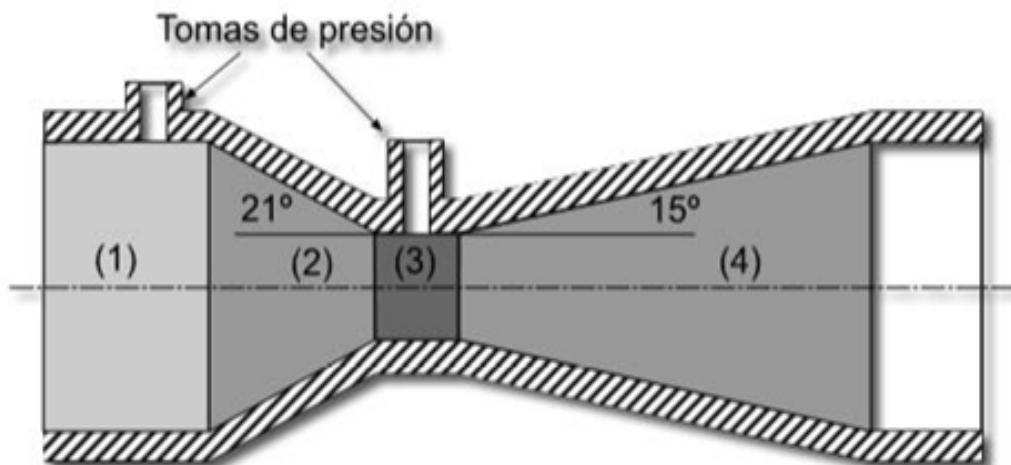


Figura 2. Zonas características de la tobera.

Una **sección cilíndrica de entrada** (1) de diámetro igual al de la tubería donde está instalada. Es en esta sección donde se realiza la conexión de la toma de alta presión.

Una **sección de entrada cónica convergente (2)** en la que la sección transversal disminuye, aumentando la velocidad del fluido y disminuyendo su presión. Su ángulo de inclinación respecto a la garganta es generalmente 21°.

Una **zona cilíndrica de paso o garganta (3)**, donde la sección alcanza su diámetro mínimo y donde la velocidad del fluido se mantiene prácticamente constante. Es fabricada exactamente según las dimensiones establecidas para el cálculo. Es en esta zona donde se realiza la conexión de la toma de baja presión.

Una **sección de salida cónica divergente (4)** en la que la sección transversal aumenta igualando al de la tubería donde está instalada, disminuyendo la velocidad y aumentando la presión del fluido. Esta sección permite una recuperación de la mayor parte de la presión diferencial producida permitiendo un ahorro de energía. Su ángulo de inclinación respecto a la garganta es generalmente 15°(Venturi de cono largo), aunque en ocasiones se opta por 7° (Venturi de cono corto) para reducir la pérdida de carga, aunque aumentan los costes de fabricación.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Pérdida de presión muy baja en comparación con otros sensores de presión diferencial.
- Permite el paso de fluidos con un porcentaje relativamente grande de sólidos, si bien, los sólidos abrasivos influyen en su forma afectando la exactitud de la medida.
- Requiere menor longitud de tubo recto a la entrada.
- Se puede usar en una tubería que no tiene bridas.

INCONVENIENTES

- Elevado coste
- Gran tamaño y peso del equipo
- Su instalación no es sencilla
- El diámetro del tubo Venturi es fijo y su rango de medición está limitado por la caída de presión causada.

APLICACIONES

- Generalmente los tubos Venturi se utilizan para la medición del flujo de gases, vapores y fluidos corrosivos y no corrosivos en conducciones de gran diámetro (de 12" en adelante), donde las placas de orificio producirían pérdidas de carga muy importantes.

-También se utilizan en conductores de aire o humos con conductos no cilíndricos, en grandes tuberías de cemento, para conducción de agua, etc.



Figura 3. Imagen tomada de www.siemens.es

8.3.1.1.4 TUBO PITOT

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El tubo Pitot consiste en un tubo hueco de sección circular y de pequeño diámetro, doblado en "L" con la entrada orientada en contra del sentido de circulación del fluido. Su eje queda alineado con el eje longitudinal de la tubería. Generalmente consta de dos tubos concéntricos tal como se muestra en la figura 1. :

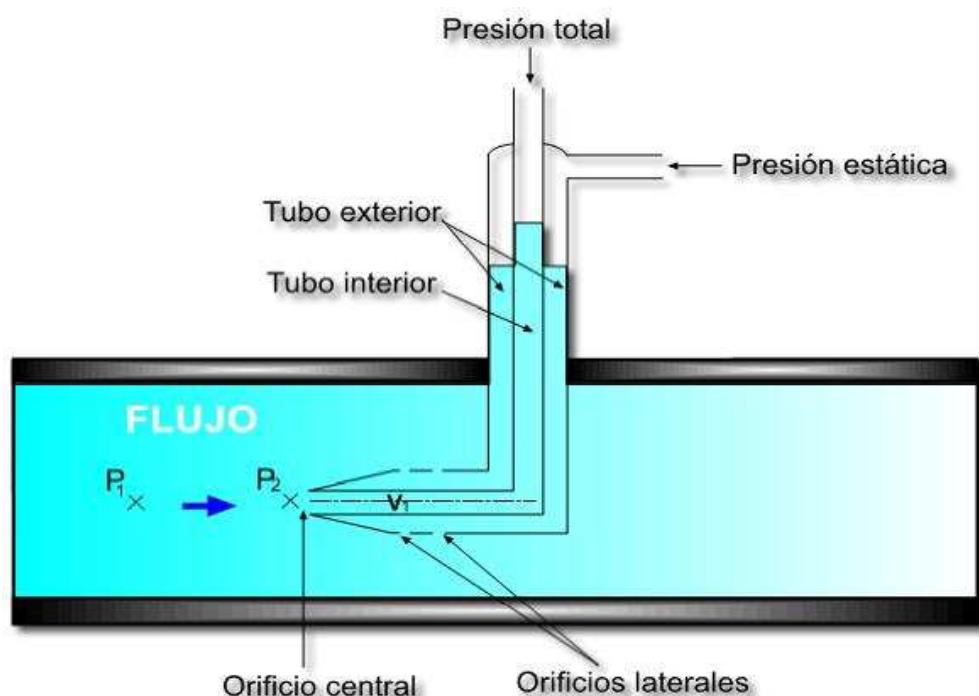


Figura 1. Tubo Pitot.

El tubo Pitot mide la diferencia entre la presión total mediante un tubo interior y la presión estática mediante un tubo exterior, es decir, la presión dinámica, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad. La velocidad del fluido en la entrada del tubo se hace nula, al ser un punto de estancamiento, convirtiendo su energía cinética en energía de presión, lo que da lugar a un aumento de presión dentro del Tubo de Pitot.

La ecuación correspondiente es:

$$\frac{P_2}{\rho} = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2}$$

P_2 = Presión de impacto o total absoluta en el punto donde el líquido anula su velocidad

P_1 = Presión estática absoluta en el fluido;

ρ = Densidad

V_1 = Velocidad del fluido en el eje del impacto.

De aquí se deduce:

$$V_1 = \sqrt{\frac{(P_2 - P_1) \cdot 2}{\rho}}$$

Introduciendo un coeficiente de velocidad C para tener en cuenta la irregular distribución de velocidades, la rugosidad de la tubería, etc., resulta:

$$V_1 = C \sqrt{\frac{(P_2 - P_1) \cdot 2}{\rho}}$$

El tubo Pitot es sensible a las variaciones en la distribución de velocidades en la sección de la tubería, de aquí que en su empleo es esencial que el flujo sea laminar disponiéndolo en un tramo recto de tubería. La máxima exactitud en la medida se consigue efectuando varias medidas en puntos determinados y promediando las raíces cuadradas de las velocidades medias.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

El orificio de impacto del tubo Pitot está localizado entre $0,25D/2$ y $0,29D/2$ de la pared interior de la tubería. En esta posición se obtiene la velocidad media del fluido. Los tramos anterior y posterior del tubo Pitot deben ser suficientemente rectos.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Coste relativo bajo.
- Amplio rango de caudales.
- Es un instrumento sencillo de fácil instalación y movilidad.
- Disponible en un amplio rango de tamaños.
- Pérdidas de carga bastante bajas en comparación con otros aparatos deprimógenos.
- No tiene partes móviles.

INCONVENIENTES

- Baja precisión.
- Dificultad para medir bajas velocidades del aire.
- Fácilmente ensuciable.
- La medición se debe realizar para fluidos limpios con una baja pérdida de carga. Para líquidos quizás el principal problema sea la rotura de la sonda.

APLICACIONES

Las aplicaciones de los tubos Pitot están muy limitadas en la industria, dada la facilidad con que se obstruyen por la presencia de cuerpos extraños en el fluido a medir.

- Normalmente se emplea para la medición de grandes caudales de fluidos limpios con una baja pérdida de carga.
- También se usa para la medición de la velocidad del aire.

8.3.1.1.5 TUBO ANNubar

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El tubo Annubar es una innovación del **tubo Pitot**. Dispone de varias tomas a lo largo de la sección transversal con lo que permite obtener una medida más próxima a la velocidad media del fluido en la sección, facilitando la medida del caudal y evitando los errores producidos como consecuencia de realizar la medición en un solo punto.

Tiene una precisión del orden del 1% y una baja pérdida de carga.

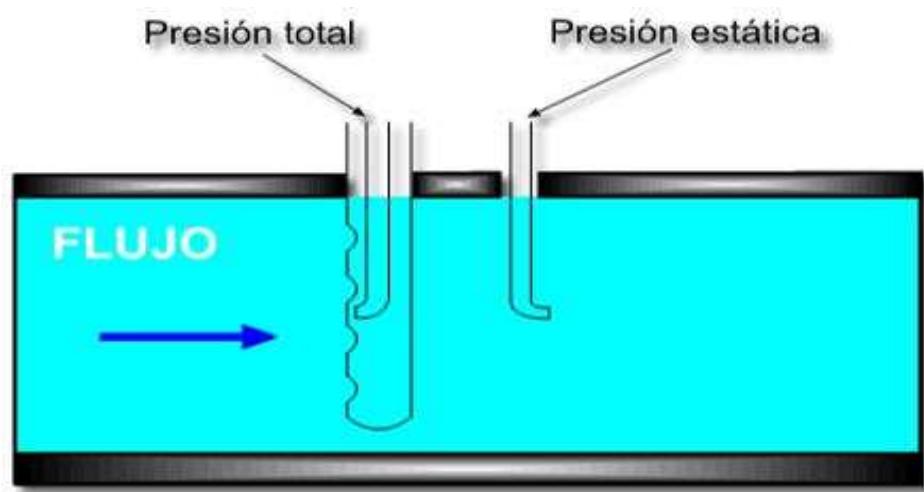


Figura.1 Tubo Annubar.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

El tubo Annubar consta de dos tubos, el de presión total y el de presión estática:

El tubo que mide la presión total está situado a lo largo de un diámetro transversal de la tubería y consta de varios orificios de posición crítica determinada por computador, que cubren cada uno la presión total en un anillo de área transversal de la tubería. Estos anillos tienen áreas iguales. En tuberías de tamaño mayor que 1" se dispone en el interior del tubo otro que promedia las presiones obtenidas en los orificios.

El tubo que mide la presión estática se encuentra detrás del de presión total con su orificio en el centro de la tubería y aguas abajo de la misma.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Coste relativo bajo.
- Tiene mayor precisión que el tubo Pitot.
- Baja pérdida de carga
- Fácil instalación y posibilidad de montarlo en tuberías existentes sin gran obra.

INCONVENIENTES

- Comparte las limitaciones del tubo Pitot.

APLICACIONES

El tubo Annubar se emplea para la medición de grandes caudales de fluidos limpios con baja pérdida de carga y también para la medición de la velocidad del aire, en situaciones que se requiera mayor precisión que la que se obtendría con un tubo Pitot.

8.3.1.1.6 OTROS

8.3.1.1.6.1 SECCIONES CENTRÍFUGAS, CODOS, BUCLES

En las secciones centrífugas tanto en codo como en bucle, la fuerza centrífuga causada por el cambio de dirección del flujo, ocasiona un gradiente de presión a lo largo del radio, de manera que la presión es mayor donde el radio de curvatura es mayor.

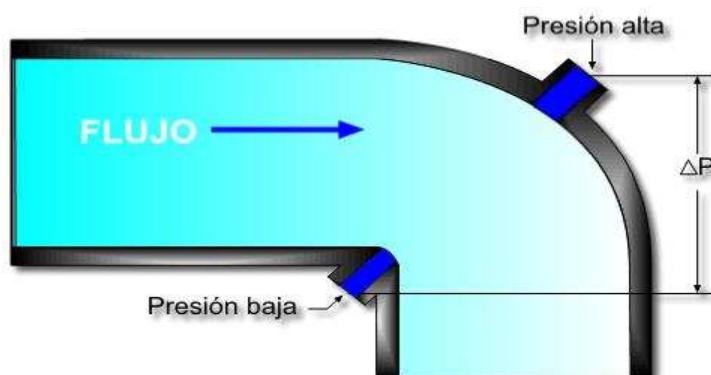


Figura 1. Sección centrífuga en codo.

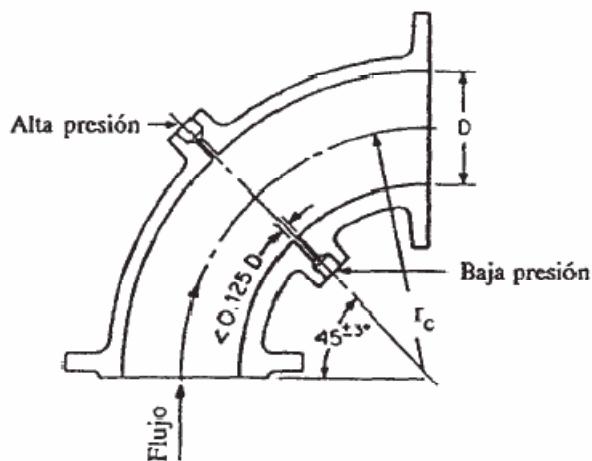


Figura 2. Disposición tomas de presión. Imagen tomada de http://www.ing.unlpam.edu.ar/~material/fluidos/pdf/clase_medidores_flujo.pdf

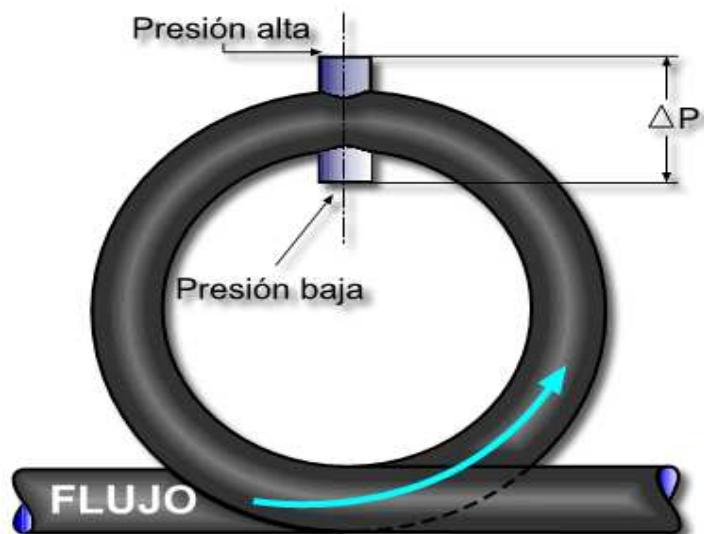


Figura 3. Sección centrífuga en bucle.

Las tomas en codo presentan la ventaja de poder ser instaladas en la mayoría de las tuberías, ya que normalmente la mayoría presentan esta geometría. Esto permite una instalación económica, sin perdidas de presión, y sin introducir obstrucciones en la línea. Debe ponerse especial cuidado para alinear los orificios de las tomas de presión en ambos planos. Si el codo está calibrado, su precisión puede ser comparable a la de una placa de orificio.

8.3.1.2 CAUDALÍMETROS DE ACCIONAMIENTO MECÁNICO

8.3.1.2.1 SENSORES DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

INTRODUCCIÓN

Los medidores de **desplazamiento positivo** miden el caudal en volumen contando o integrando volúmenes separados del líquido. Las partes mecánicas del instrumento se mueven aprovechando la energía del fluido y dan lugar a una pérdida de carga. La precisión depende de los huecos entre las partes móviles y las fijas y aumenta con la calidad de la mecanización y con el tamaño del instrumento. Generalmente tienen una alta exactitud como una alta repetibilidad.

En cada medidor, se pueden destacar tres componentes comunes:

-**Cámara**, que se encuentra llena de fluido.

-**Desplazador**, que bajo la acción del fluido circulando, transfiere el fluido desde el final de una cámara a la siguiente.

-**Transductor (indicador o registrador)**, conectado al desplazador, que cuenta el número de veces que el desplazador se mueve de una parte a otra en la cámara de trabajo.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Un volumen conocido de fluido se aísla mecánicamente en el elemento del medidor, y es trasladado desde la entrada de este hasta su salida, llenando y vaciando alternadamente los compartimentos o cámara del medidor cuyas partes mecánicas se mueven aprovechando la energía del fluido. El volumen total del fluido que pasa a través del medidor en un periodo de tiempo dado, es el producto del volumen de la muestra por el número de muestras totales. Los medidores de flujo de desplazamiento positivo frecuentemente totalizan directamente el flujo en un contador integral, pero también pueden generar una salida de pulso que puede ser leída localmente o transmitida a una sala de control.

TIPO DE TRANSDUCTORES

Los medidores de desplazamiento pueden tener acoplados varios tipos de transductores:

Transductor de impulsos por microrruptor eléctrico o neumático en que el eje del medidor acciona un interruptor por medio de una leva. El Interruptor está conectado a un contador electromecánico de baja velocidad.

Transductor de impulsos por sensor magnético que utiliza un rotor con unos pequeños imanes enbebidos en él y un captador magnético situado en el exterior de la caja del rotor. Al girar el rotor los pequeños imanes que contiene cortan el flujo del captador generando un tren de ondas senoidales de impulsos que es amplificado y acondicionado obteniéndose así impulsos de ondas cuadradas aptos para circuitos convertidores o integradores.

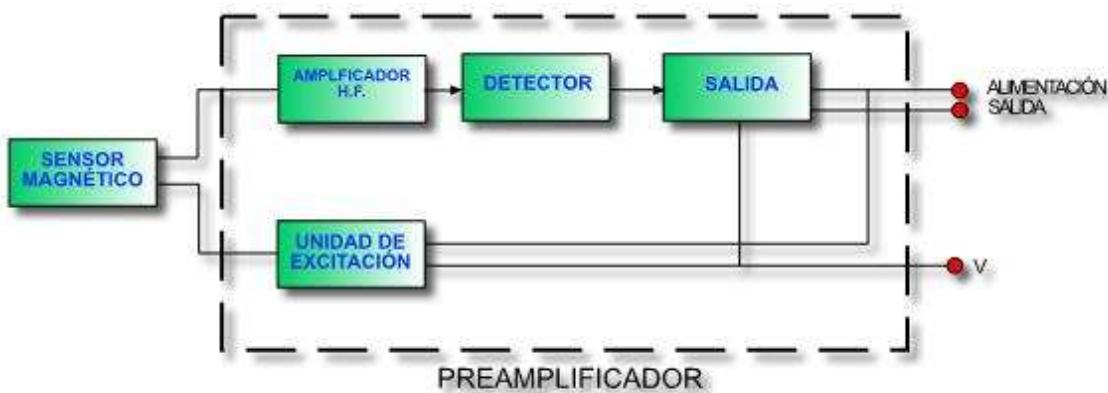


Figura 1. Sensor magnético.

Transductor de impulsos por disco ranurado cuyo principio de funcionamiento es el siguiente: el bobinado primario L_1 genera continuamente una onda de alta frecuencia de 1MHz. Al girar el disco ranurado por la acción del medidor de caudal interrumpe el flujo magnético de la bobina L_1 y como resultado se forma otra onda en el arrollamiento secundario L_2 . Esta onda es rectificada en el detector y enviada al acondicionador donde se obtiene una onda de salida cuadrada proporcional al caudal.

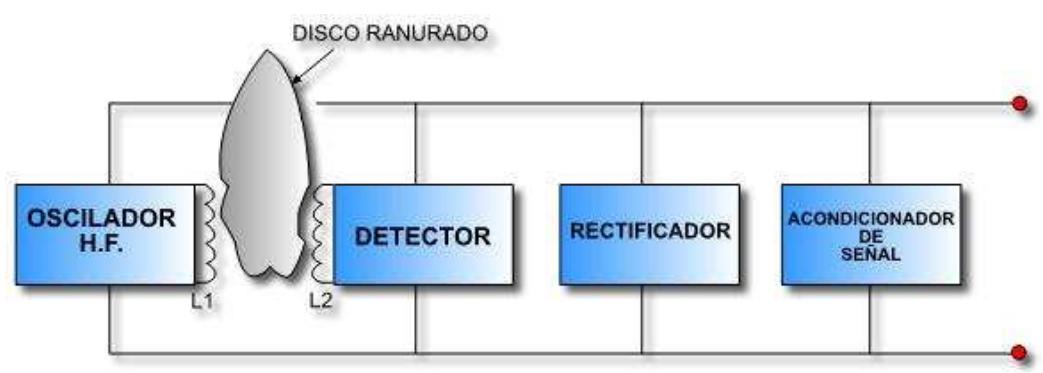


Figura 2. Disco ranurado.

Generador tacométrico que genera una señal de c.c. de 0-100 mV proporcional al caudal. En su forma más sencilla consiste en un generador de c.c. con estator de imán permanente y rotor bobinado. La precisión es bastante elevada, del orden de 0,01% para velocidades medias.

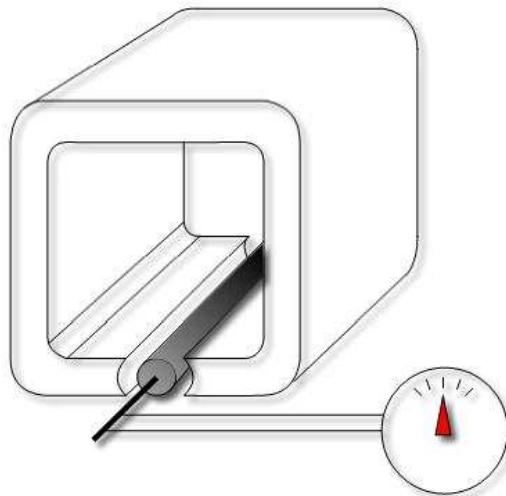


Figura 3 .Generador tacométrico.

Transductor de impulsos fotoeléctrico que genera una onda cuadrada que varía de 0 a 10 V. Consiste en una lámpara de filamento, un disco con sectores alternativamente opacos y translúcidos y una fotocélula. La variación en la intensidad de la luz que se produce en la fotocélula cambia la resistencia en la tensión de salida produciendo impulsos a cada paso de zonas de opaca a translúcidas del disco. Estos impulsos son amplificados e integrados.

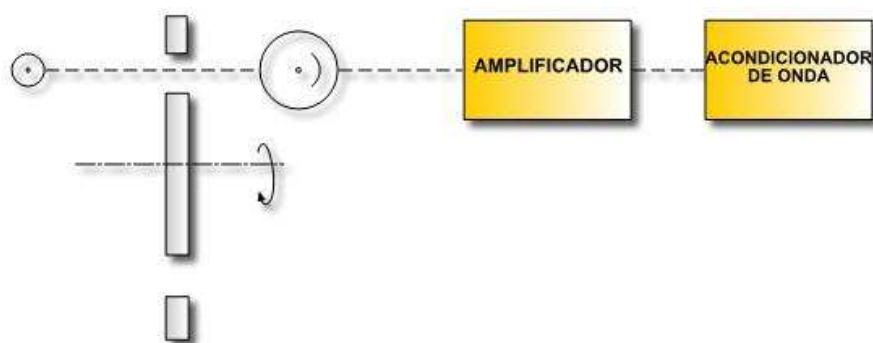


Figura 4. Fotoeléctrico.

Combinados con estos transductores se encuentran otros tipos de accesorios:

-Convertidor de frecuencia-tensión;

- Convertidor de frecuencia-corriente;
- Totalizador electromecánico con reset manual;
- Totalizador electromecánico con predeterminador para procesos discontinuos;
- Totalizador neumático con programador para procesos discontinuos;
- Módulo de comunicaciones;

CONSIDERACIONES

Un problema importante que se debe tener en cuenta al fabricar un medidor de desplazamiento positivo es conseguir una buena estanqueidad de las partes móviles, evitando un par de rozamiento inaceptable y que la cantidad de líquido de escape a través del medidor sea moderada. Por esta razón, es necesario calibrar el medidor de desplazamiento a varios caudales, dentro del margen de utilización, con un fluido de viscosidad conocida.

En la instalación de un medidor de desplazamiento positivo se recomienda instalar un retenedor o filtro, aguas arriba, para evitar que partículas extrañas entren en la cámara del medidor. También se recomienda un mecanismo para eliminar las burbujas de aire presentes en el líquido, ya que el medidor registrará el volumen de aire con el líquido.

La mayoría de estos medidores se utilizan en aplicaciones de líquidos, sin embargo, existen algunas versiones disponibles para gases.

Para caudales muy bajos, el fluido no tiene energía cinética suficiente para hacer girar el rotor frente a esta fricción, que además incluye, la mayoría de los medidores de desplazamiento, la resistencia ofrecida por el mecanismo articulado del contador, por lo que el fluido se desliza lentamente entre los componentes del medidor y la cámara, sin producir movimiento del rotor o pistón. El error del medidor, E, se define como:

$$E = \frac{Q_{Indicado} - Q_{real}}{Q_{real}} \cdot 100\%$$

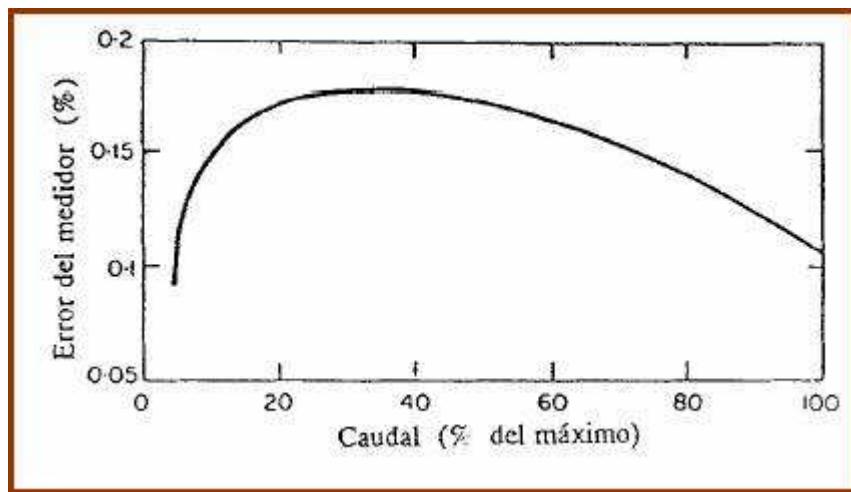


Figura 5. Gráfica error del medidor

De forma que, para estos caudales bajos, el error es alto y negativo. Sin embargo, cuando el caudal aumenta este error negativo desaparece rápidamente, ya que la energía cinética del fluido aumenta con el cuadrado de su velocidad.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Tienen tanto una alta exactitud como una alta repetibilidad.
- Tienen baja fricción y es de bajo mantenimiento.
- Bajo coste.
- Empleados para amplios rangos de medida.

INCONVENIENTES

- Requieren mantenimiento y están sujetos a mayor desgaste por ser invasivos.
- No se utiliza para gases.
- Ocasiona una pérdida permanente de presión debido a que absorben energía del fluido para generar el desplazamiento.
- Poca tolerancia a partículas en suspensión en los fluidos ya que estas generan resistencia al movimiento y pueden dañar el equipo.
- El fluido debe ser líquido y debe poseer cierta viscosidad.

8.3.1.2.1.1 PISTÓN OSCILANTE

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El instrumento se compone de una cámara de medida cilíndrica con una placa divisoria que separa los orificios de entrada y de salida. La única parte móvil es un pistón cilíndrico que oscila suavemente en un movimiento circular entre las dos caras planas de la cámara, y que está provisto de una ranura que desliza en la placa divisoria fija que hace de guía del movimiento oscilante. El eje del pistón al girar, transmite su movimiento a un tren de engranajes y a un contador. El par disponible es elevado de modo que el instrumento puede accionar los accesorios mecánicos que sean necesarios.



Figura 1. Ciclo de un pistón oscilante.

Al comienzo de un ciclo el líquido entra al medidor a través de la entrada A, en la posición 1, forzando al pistón a moverse alrededor del cilindro en la dirección mostrada en la figura, hasta que el líquido delante del pistón es forzado a salir a través de la puerta de salida B, en la posición 4, quedando el dispositivo listo para comenzar otro ciclo.

La precisión normal es de $\pm 1\%$ pudiéndose llegar a $\pm 0,2\%$ con pistón metálico y $\pm 0,5\%$ con pistón sintético, dentro de un margen de caudal de 5:1.

APLICACIONES

El pistón oscilante se fabrica para tamaños de tubería hasta 2" con caudales máximos de 600l/min.

Se aplican en la medición de caudales de agua y de líquidos viscosos no corrosivos. Siendo una de sus aplicaciones en unidades de bombeo de distribución de petróleo.

8.3.1.2.1.2 PISTÓN ALTERNATIVO

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El medidor de pistón convencional es el más antiguo de los medidores de desplazamiento positivo. El instrumento se fabrica en muchas formas: de varios pistones, de doble acción, de válvulas rotativas, de válvulas deslizantes horizontales.

La cámara de medida es un cilindro cerrado que se llena y desocupa con el movimiento alternativo de un pistón que corre en su interior.

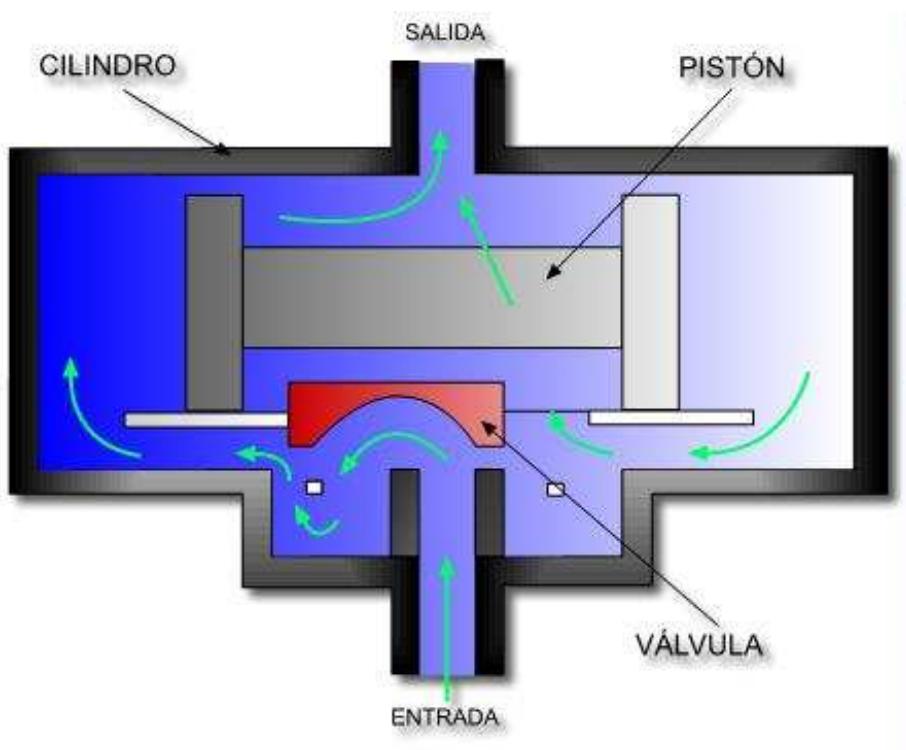


Figura 1. Pistón alternativo.

Pueden alcanzar una precisión del orden de $\pm 0,2\%$.

Su capacidad es pequeña comparada con los tamaños de otros medidores.

Su costo inicial es alto, dan una pérdida de carga alta y son difíciles de reparar.

APLICACIONES

Al igual que el medidor de pistón oscilante, el pistón alternativo se utiliza habitualmente para medidas precisas de pequeños caudales.

Este tipo de medidor se ha empleado mucho en la industria petroquímica.

8.3.1.2.1.3 MEDIDORES ROTATIVOS

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Este tipo de medidor tiene válvulas rotativas que giran excéntricamente rozando con las paredes de una cámara circular y transportan el líquido en forma incremental de la entrada a la salida. El concepto de trabajo consiste en que el fluido va llenando cámaras de volumen fijo, debido al impulso del fluido, el sistema rota, pasando el volumen de un alojamiento al otro en una sola dirección. El volumen desplazado por unidad de tiempo se obtiene al contabilizar el número de vueltas del sistema.

Dentro de los medidores rotativos podemos encontrar varios tipos, siendo los más habituales, los cicloidales, los helicoidales, los de dos rotores (birrotor) y los ovales.

MEDIDOR CICLOIDAL

El **medidor cicloidal** contiene dos lóbulos del tipo Root engranado entre sí que giran en direcciones opuestas manteniendo una posición relativa fija y desplazando un volumen fijo de fluido líquido o gas en cada revolución.

Se fabrican en tamaños que van de 2 a 24" y con caudales de líquidos de 30 a 66500 l/min y en gas hasta 3 c. Su precisión es de $\pm 1\%$ para caudales de 10 al 100% del intervalo de medida, bajando mucho la precisión en caudales bajos debido a los huecos que existen entre lóbulos.

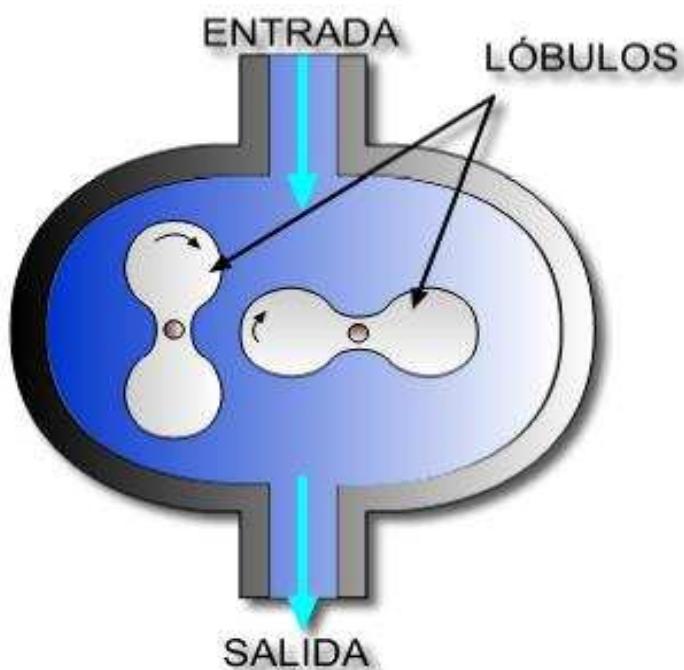


Figura 1. Medidor cicloidal.

MEDIDOR DE RUEDA OVAL

El **medidor de rueda oval** dispone de dos ruedas ovales que engranan entre sí y tienen un movimiento de giro debido a la presión diferencial creada por el líquido. La acción del líquido va actuando alternativamente sobre cada una de las ruedas dando lugar a un giro suave de un par casi constante. La cámara de medida y las ruedas están mecanizadas con gran precisión para conseguir un desplazamiento mínimo entre las mismas, sin formación de bolsas o espacios muertos en la cámara de medida y barriendo completamente la misma en cada rotación. Ya que el deslice entre los engranajes ovales y la pared de la cámara es mínimo, el medidor no es afectado por cambios en la viscosidad y lubricación de los líquidos medidos.

De este modo, la medida es prácticamente independiente de variaciones en la densidad y en la viscosidad del líquido.

La precisión es de $\pm 0,5\%$ del caudal total. Los tamaños varían de 0,5 a 3".

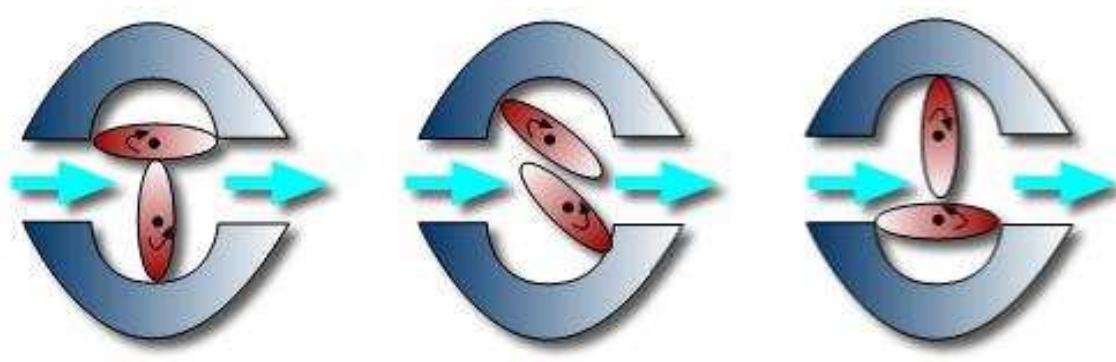


Figura 2. Medidor de rueda oval.

MEDIDOR HELICOIDAL

El medidor helicoidal se basa en el mismo principio de funcionamiento que el medidor oval. Lo que le distingue de él es que usa unos engranajes de forma helicoidal:

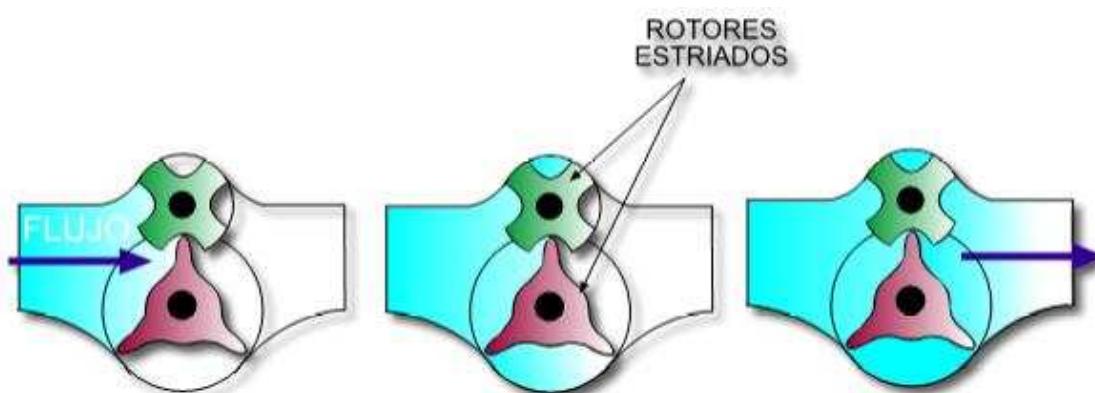


Figura 3. Medidor helicoidal.

MEDIDOR BIRROTOR

El medidor birrotor está diseñado para medir el flujo total de productos líquidos que pasan a través del mismo por medio de una unidad de medición que separa el flujo en segmentos separándolo momentáneamente del caudal que pasa a través del medidor. Los segmentos son contados y los resultados son transferidos al contador o cualquier otro sistema totalizador a través del tren de engranajes.

Consiste en dos rotores sin contacto mecánico entre sí que giran como únicos elementos móviles en la cámara de medida. La relación de giro mutuo se mantiene gracias a un conjunto de engranajes helicoidales totalmente cerrado y sin contacto con el líquido. Los rotores están equilibrados estática y dinámicamente y se apoyan en rodamientos de bolas de acero inoxidable. Al no existir contacto mecánico entre los rotores, la vida útil es larga y el mantenimiento es fácil. El medidor puede trabajar con bajas presiones diferenciales del orden de 1" c. de a.

Son reversibles, admiten sobrevelocidades esporádicas sin recibir daño alguno, no requieren filtros, admiten el paso de partículas extrañas y permiten desmontar fácilmente la unidad de medida sin necesidad de desmontar el conjunto completo.

Su ajuste es sencillo y son de fácil calibración mientras el instrumento está bajo presión y sin pérdida de líquido.

Su ámbito de aplicación es la medición de caudales de crudos y productos petrolíferos.

Su tamaño varía de 3 a 12". La precisión es de $\pm 0,2$, con una pérdida de carga de 5 psi y con un margen de caudal de 5 a 1.

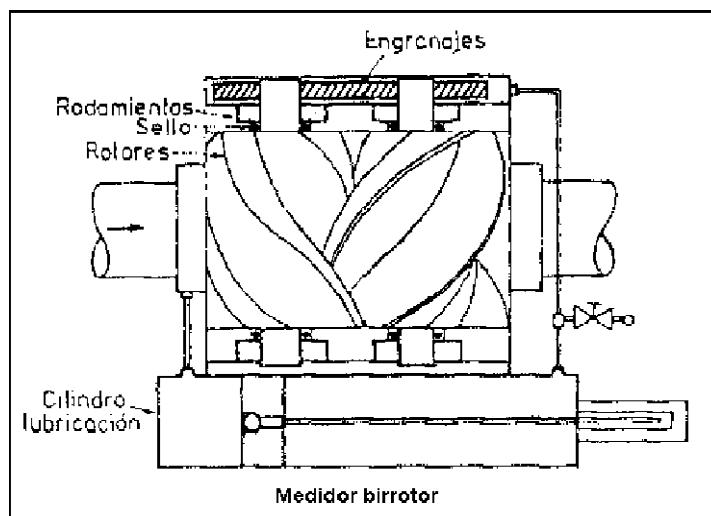


Figura 4. Medidor birotor. Imagen tomada de
http://www.mavainsa.com/documentos/10_instrumentacion.pdf

APLICACIONES

El medidor rotativo es utilizado en un amplio rango de aplicaciones y condiciones de funcionamiento. Es utilizado para todo líquido viscoso, no abrasivo tales como petróleo, grasa, pastas, lubricantes, sustancias químicas...etc.

8.3.1.2.1.4 MEDIDOR DE DISCO OSCILANTE.

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El sistema de **Disco Oscilante** dispone de una cámara formada por dos conos invertidos y un sector esférico. Incorpora un disco plano móvil dotado con una ranura en la que está intercalada una placa fija. Esta placa separa la entrada de la salida e impide el giro del disco durante el paso del fluido. La cara baja del disco está siempre en contacto con la parte inferior de la cámara en el lado puesto. De este modo la cámara está dividida en compartimentos separados de volumen conocido.

Cuando pasa el fluido, el disco toma un movimiento nutativo dentro de la cámara de modo que cada punto de su circunferencia exterior sube y baja alternativamente estableciendo contacto con las paredes de la cámara desde su parte inferior a la superior.

El movimiento del eje se transmite a un tren de engranajes. El par disponible es pequeño, lo que pone un límite en la utilización de accesorios mecánicos.

La precisión es de $\pm 1\text{-}2\%$ y su caudal máximo es de 600l/min.

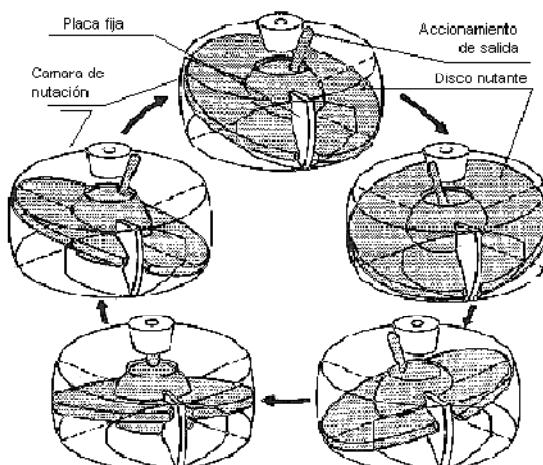


Figura 1. Medidor de disco oscilante. Imagen tomada de
[http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Caudal/Principios/Caudal_Sensores.pdf\(2\)](http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Caudal/Principios/Caudal_Sensores.pdf(2))

APLICACIONES

El medidor de disco oscilante era empleado originalmente en aplicaciones domésticas para agua. Actualmente se utiliza industrialmente en la medición de caudales de agua fría, agua caliente, aceite y líquidos alimenticios. Es fabricado principalmente para pequeños tamaños de tubería.

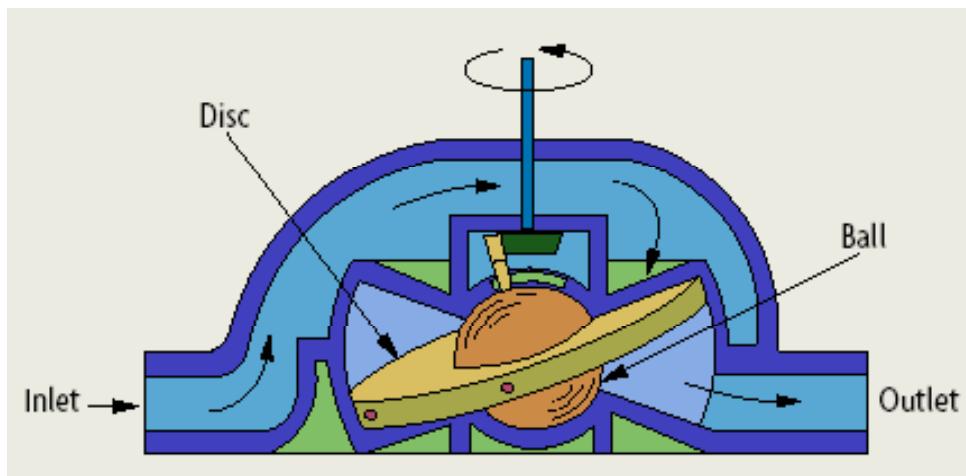


Figura 2. Medidor de disco oscilante. Imagen tomada de
http://www.amf.uji.es/Teoria_Tema6_910.pdf

8.3.1.2.1.5 MEDIDOR DE PALETAS DESLIZANTES

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El medidor de **paletas deslizantes** consta de un rotor con unas paletas, dispuestas en parejas opuestas, que se pueden deslizar libremente hacia adentro y hacia afuera de su alojamiento. Los miembros de las paletas opuestas se conectan rígidamente mediante varillas, y el fluido circulando actúa sobre las paletas sucesivamente, provocando el giro del rotor. Mediante esta rotación el líquido se transfiere desde la entrada a la salida a través del espacio entre las paletas. El cierre se lleva a cabo por la acción de las paletas sobre la pared de la cámara, mediante una combinación de presión de líquido y fuerzas centrífugas, auxiliado por el apriete, mediante resortes, de las paletas contra la pared de la cámara. Esto ayuda a mantener en valores aceptables cualquier escape de líquido que pueda producirse a través de las paletas.

El caudal se obtiene contabilizando el número de revoluciones del rotor.

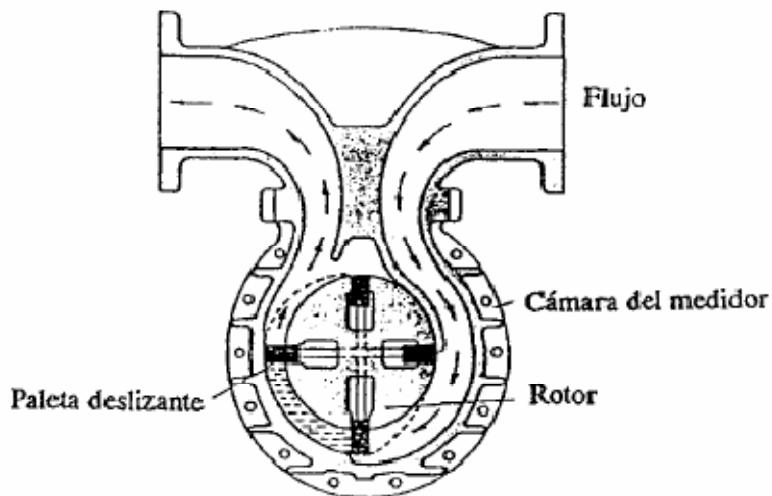


Figura 1. Medidor de paletas deslizantes. Imagen tomada de
http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/trabajos%202003/Sem%20Aut%20%20Caudal/web-final/Inicio_archivos/caudal-final.PDF

APLICACIONES

Industria petrolera, azucarera, alimentos balanceados, etc.

8.3.1.2.1.6 MEDIDOR DE PAREDES DEFORMABLES

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El medidor de **paredes deformables** o de membrana o fuelle, está formado por una envoltura a presión con orificios de entrada y salida que contiene el grupo medidor formado por cuatro cámaras de medición.

Su precisión es del orden de $\pm 0,3\%$.

CICLO 1

El gas entra por el orificio hacia la cámara de la izquierda. Empuja la membrana y extrae el gas que sale por el orificio de salida. La válvula de la derecha permanece cerrada para que no se vea afectada la cámara situada a la derecha. Este movimiento permite registrar el volumen así como predisponer las válvulas para que tenga lugar el siguiente ciclo.

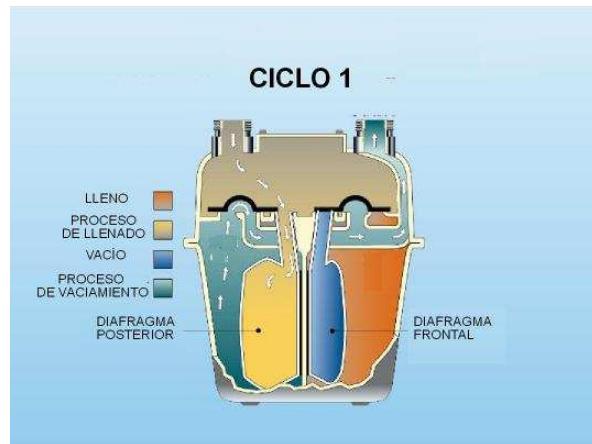


Figura 1. Ciclo 1.

CICLO 2

En este ciclo, la válvula de la izquierda permanece cerrada para que la cámara correspondiente no se vea afectada. El gas se introduce por la cámara de la derecha, desplazando la membrana y extrayendo el gas hacia el orificio de salida.



Figura 2. Ciclo 2.

CICLO 3

En este caso el gas entra por la cámara de la izquierda, desplazando la membrana hacia la derecha y extrae el gas, que se dirige hacia el orificio de salida. La válvula situada a la derecha permanece cerrada.



Figura 3. Ciclo 3.

CICLO 4

Por último, el gas entra por la cámara de la derecha, empujando la membrana hacia la derecha y extrae el gas hacia el orificio de salida. La válvula de la izquierda permanece cerrada.

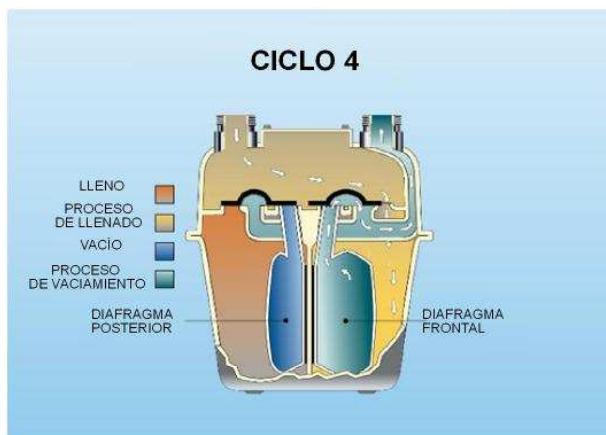


Figura 4. Ciclo 4.

APLICACIONES

El medidor de paredes deformables es un instrumento utilizado para la medición de gas.

Para la medida de pequeños caudales se utiliza en exteriores, servicios residenciales, sistemas de distribución de propano, chimeneas.

Para la medida de mayores caudales se utiliza en instalaciones industriales y comerciales.

8.3.1.2.2 SENSOR DE TURBINA

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El caudalímetro tipo **turbina** utiliza una turbina rotor como elemento sensor y un devanado sensor electromagnético en conjunción con álabes como elementos de transducción. El rotor convierte la velocidad lineal del flujo en un equivalente de velocidad angular del rotor. La señal de salida es una frecuencia proporcional a la velocidad volumétrica de flujo, que puede ser senoidal o de pulsos dependiendo de la forma de los dientes del rotor.

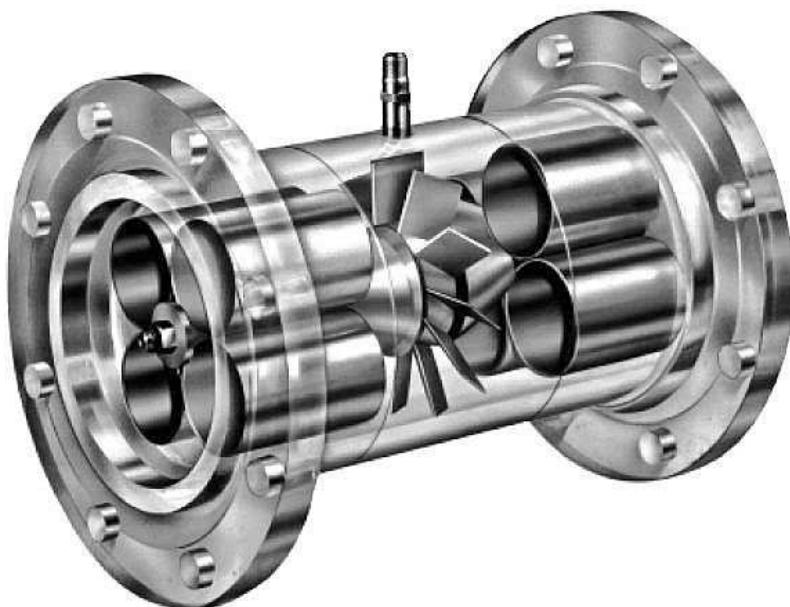


Figura 1. Medidor de turbina. Imagen tomada de
<http://www.instrumentacionycontrol.net/es/articulos-instrumentacion/14-instrumentacion-sistemas-de-medicion/92-flujo-medidores-de-area-variable-magneticos-turbina-vortice-y-flujo-total.html>

Tiene una precisión del 1 % y una pérdida de carga apreciable en comparación con otros medidores de caudal.

La sensibilidad de un medidor de flujo por turbina se expresa como el coeficiente de flujo K, en hertz (ciclos) por metro cúbico (o por galón, o por litro). Este coeficiente es aplicable en unas condiciones específicas de densidad, viscosidad, temperatura del

fluído, presión absoluta y velocidad del flujo y para una configuración determinada de la turbina:

$$K = \frac{T_k \cdot f}{Q}$$

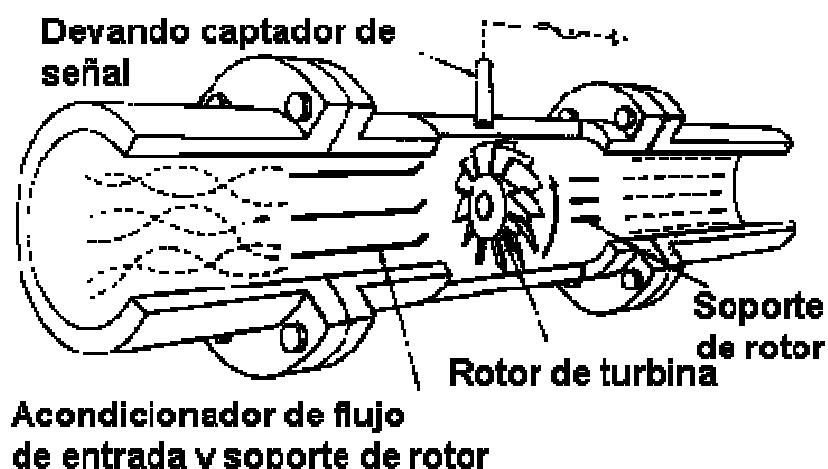
f = frecuencia, Hz.

Q = Caudal volumétrico.

T_k = Constante de tiempo

K = Pulsos por unidad de volumen

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS



El medidor de caudal por turbina está formado básicamente por un rotor, un soporte de rotor, un acondicionador de flujo a la entrada y un devanado captador de señal cuya frecuencia de salida es proporcional al flujo.

El rotor está soportado por uno o varios cojinetes y existe una variedad de técnicas orientadas a minimizar la fricción de estos. Si se utiliza una técnica de transducción electromagnética se crea una pequeña retención electromagnética que tiende a retardar el movimiento del rotor. Transductores de tipo inductivo, corrientes de remolino y excitación RF y técnicas electroópticas reducen este problema.

El rango de las dimensiones de las turbinas va desde 0,6 cm a 25 cm, con diseños especiales de hasta 60 cm.

Algunos medidores de flujo por turbina incorporan compensaciones, como, por ejemplo, rodillos compensadores de viscosidad rotativos, a los que se aplica filtrado el fluido.

Los medidores de turbina para gas o líquido difieren fundamentalmente en el diseño del rotor.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Las pérdidas de carga son bajas.
- Alta precisión.
- Alta repetibilidad.
- Sensores adecuados para altas presiones y temperaturas.
- Qmax/Qmin alto, (aproximadamente 15:1)

INCONVENIENTES

- Coste elevado
- No son adecuados para fluidos con altas viscosidades.
- Las partes móviles están sujetas a desgaste, y además se pueden dañar por sobrevelocidad.
- Deben usarse en ausencia de partículas en suspensión.
- Se requiere calibración para realizar las medidas.
- Requerimiento de tramos rectos aguas arriba y abajo del medidor.

APLICACIONES

Los caudalímetros de turbina son utilizados para la medición tanto de gases como líquidos. Existen diversos ámbitos de aplicación, entre los más comunes se encuentran:

- Aplicaciones aeroespaciales para la medida de combustibles.
- Aplicaciones marinas.
- Aplicaciones sanitarias.
- Industria química.
- Industria petrolera.

8.3.1.2.3 SENSOR DE HÉLICE

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El sensor de caudal tipo hélice mide la velocidad del fluido dentro de un área transversal de la tubería donde se encuentra ubicado. La hélice, situada perpendicular al fluido, rota a su paso y un sensor ubicado en la parte exterior de la tubería recoge la rotación. El caudal se calcula midiendo la frecuencia del pulso de rotación, obteniéndose el volumen total contando el número de pulsos.

La estructura del medidor consta de diferentes partes:

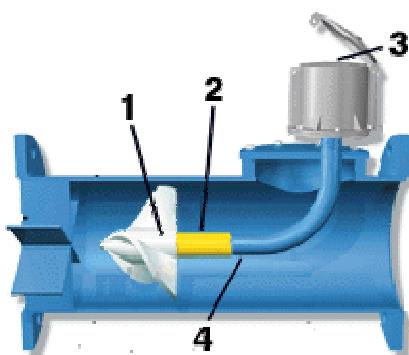


Figura 1. Medidor de hélice. Imagen tomada de
<http://www.nciweb.net/propellermeter-cutaway.htm>

Una hélice de acero inoxidable situada perpendicularmente al paso del fluido.

Un sistema de acoplamiento magnético que permite el movimiento sin restricciones de la hélice.(2)

Un indicador de caudal instantáneo y totalizador.(3)

Una unidad de cable flexible que comunica la hélice con el indicador.(4)

Para evitar que algunos aditamentos que se instalan antes del medidor como codos, válvulas, bombas o reducciones de diámetro puedan inferir en la medida es necesario mantener un tramo recto de tubería de 5D aguas arriba y de 1D aguas abajo, aunque los requerimientos del fabricante pueden variar de acuerdo a los modelos y tamaños de los medidores.

APLICACIONES

La principal aplicación de los caudalímetros tipo hélice es la medición de agua en los sistemas de riego.

8.3.1.2.4 SENSORES DE ÁREA VARIABLE

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El caudalímetro de **sección variable** utiliza el mismo principio de funcionamiento que el de presión diferencial. Así como en el segundo hay una restricción constante a través del cual fluye el fluido provocando un cambio en su presión estática, en este caudalímetro la caída de presión es aproximadamente constante, variando la sección.

El caudal está relacionado con el área a través de la cual circula el fluido y la lectura se realiza midiendo el desplazamiento del elemento usado para modificar la sección.

Dentro de los caudalímetros de sección variable se encuentran, los **rotámetros**, de **flotador fijo** y de **pistón**.

ROTÁMETRO

El rotámetro es un medidor en el cual un flotador cambia su posición dentro de un tubo, proporcionalmente al flujo del fluido.

Las fuerzas que actúan sobre el flotador se representan en la figura.

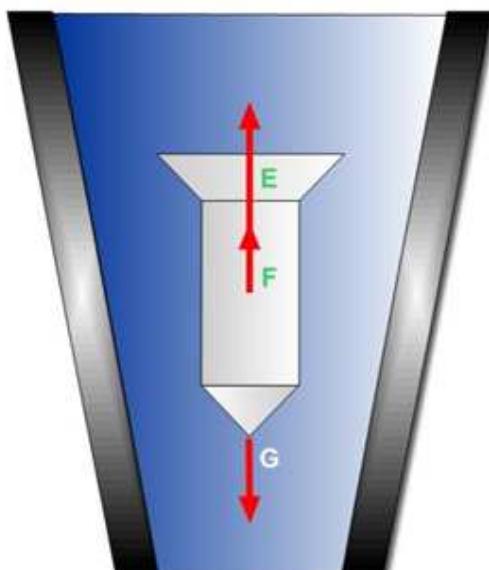


Figura 1.Rotámetro.

En condiciones de equilibrio se cumple:

$$G = v_f \cdot \rho_f \cdot g$$

$$F = v_f \cdot \rho_l \cdot g$$

$$E = C_d \cdot \rho_l \cdot A_f \cdot \frac{v^2}{g}$$

$$\mathbf{F} + \mathbf{E} = \mathbf{G}$$

G = peso del flotador.

v_f = volumen del flotador.

ρ_f = densidad del flotador.

ρ_l = densidad del fluido.

E = fuerza de arrastre del fluido sobre el flotador.

G = fuerza de empuje del fluido sobre el flotador.

C_d = coeficiente de arrastre del fluido sobre el flotador.

v = velocidad del fluido.

A_f = área de la sección del flotador.

$$v = \sqrt{\frac{2g \cdot v_f \cdot (\rho_f - \rho_l)}{C_d \cdot \rho_l \cdot A_f}}$$

El valor de C_d depende de la viscosidad del fluido. Además el rotámetro al ser un diafragma de orificio variable tendrá como éste, un coeficiente de descarga que englobará el reparto desigual de velocidades, la contracción de la vena del fluido, las rugosidades de la tubería, etc.

Incorporando el término $\sqrt{\frac{1}{C_d}}$ a este coeficiente de descarga en la expresión anterior, se obtiene:

$$v = C \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot v_f \cdot (\rho_f - \rho_l)}{\rho_l \cdot A_f}}$$

Y dado que:

$$Q_V = v \cdot A_w$$

A_w = sección interior del tubo.

Se obtienen las expresiones del caudal volumétrico y másico:

$$Q_v = C \cdot A_w \sqrt{\frac{2g \cdot v_f \cdot (\rho_f - \rho_l)}{\rho_l \cdot A_f}}$$

$$Q_m = C \cdot A_w \sqrt{\frac{2g \cdot v_f \cdot (\rho_f - \rho_l)}{A_f}} \cdot \rho_l$$

La pérdida de carga del rotámetro es constante en todo el recorrido del flotador y puede hacerse muy baja mediante una forma adecuada de éste.

$$\Delta p = \frac{G_f - v_f \cdot \rho_1 \cdot g}{A_f}$$

G_f = peso del flotador.

v_f = volumen del flotador.

ρ_1 = densidad del fluido.

A_f = sección transversal máxima del flotador.

Es necesario tener en cuenta la pérdida de carga debida a las conexiones y al tubo para obtener la pérdida de carga total. El valor aproximado de ésta es el doble de la del flotador.

El intervalo de medida de los rotámetros es usualmente de 1 a 10 (relación entre el caudal mínimo y el máximo) con una escala lineal. Su precisión es del orden de 2% de toda la escala cuando están sin calibrar y de un 1% con calibración.

Su rango de medida varía entre 0,5 cm³/min hasta 1135 l/min de agua, y desde 30 cm³/min hasta 1700m³/h de aire.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Los tubos empleados en los rotámetros pueden ser de vidrio y metálicos, construidos de tal forma que no son necesarios calibrarlos. Tienen una conicidad que viene expresada como la relación entre el diámetro interno del tubo en la escala máxima y el diámetro de la cabeza del flotador, variando entre 1,20 a 1,35.

Los flotadores pueden tener varios perfiles de construcción:

Esférico: Utilizado para bajos caudales y poca precisión, con una influencia considerable de la viscosidad del fluido.

Cilíndrico con borde plano: Apropiado para caudales medios y elevados con una influencia media de la viscosidad del fluido.

Cilíndrico con borde saliente de cara inclinada contra el flujo: Con menor influencia de la viscosidad.

Cilíndrico, con bordes salientes contra el flujo: Mínima influencia de la viscosidad del fluido.

El material más empleado en los flotadores es el acero inoxidable, aunque también se utilizan otros metales para satisfacer requerimientos de resistencia a la corrosión. Se utilizan también flotadores de plástico.

MATERIALES COMUNES DE FLOTADORES NORMALES

Material	Densidad
Aluminio	2,72
Bronce	8,78
Durimet	8,02
Monel	8,84
Niquel	8,91
Goma	1,2
Inox.303	7,92
Inox.306	8,04
Hastelloy B	9,24
Hastelloy C	8,94
Plomo	11,38
Tantalio	16,6
Teflón	2,2
Titanio	4,5

MATERIALES COMUNES DE FLOTADORES ESFÉRICOS

Material	Densidad
Vidrio de borosilicato	2,2
Aluminio	2,72
Zafiro	4,03
Inox.304	7,92
Inox.306	8,04
Monel	8,84
Carboloy	14,95
Tantalio	16,6

Las escalas de los rotámetros están grabadas en una escala de latón o de aluminio montada a lo largo del tubo y situada en coincidencia con la línea de cero del tubo o

bien directamente en el tubo de vidrio. Pueden estar graduadas en unidades directas del caudal o bien en porcentaje de 10 a 100 % de la escala total.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Económico para caudales bajos y tuberías con diámetros menores a 2".
- Cubre un rango amplio de caudales.
- Utilizado para la medida tanto de líquidos como gases.
- Posibilidad de lectura directa de caudal.
- Caída de presión baja.
- Instalación y mantenimiento simple.

INCONVENIENTES

- No es sencillo ni económico obtener señal eléctrica a partir de la indicación.
- Se incrementa mucho su coste para tuberías de diámetro grande.
- Debe instalarse en sentido vertical de modo que el caudal sea ascendente.

APLICACIONES

Según la aplicación los rotámetros pueden dividirse en rotámetros de purga, de indicación directa para usos generales y armados con indicación magnética y transmisión neumática y electrónica.

Los **rotámetros de purga** se utilizan para caudales muy pequeños. Por ejemplo, purga hidráulica de los sellos mecánicos de las bombas generales de la planta, medición de nivel por burbujeo, purga de elementos de presión diferencial para la medida de caudal o de instrumentos que trabajan en atmósferas corrosivas o polvorrientas.

Los **rotámetros armados** incorporan un tubo metálico que no permite la lectura directa del caudal, precisando de elementos de indicación o transmisión. Los transmisores neumáticos acoplados al rotámetro consisten en una leva que sigue magnéticamente el movimiento del flotador y que se encuentra situada entre dos toberas neumáticas. Estas toberas forman parte de un transmisor de equilibrio de movimientos.

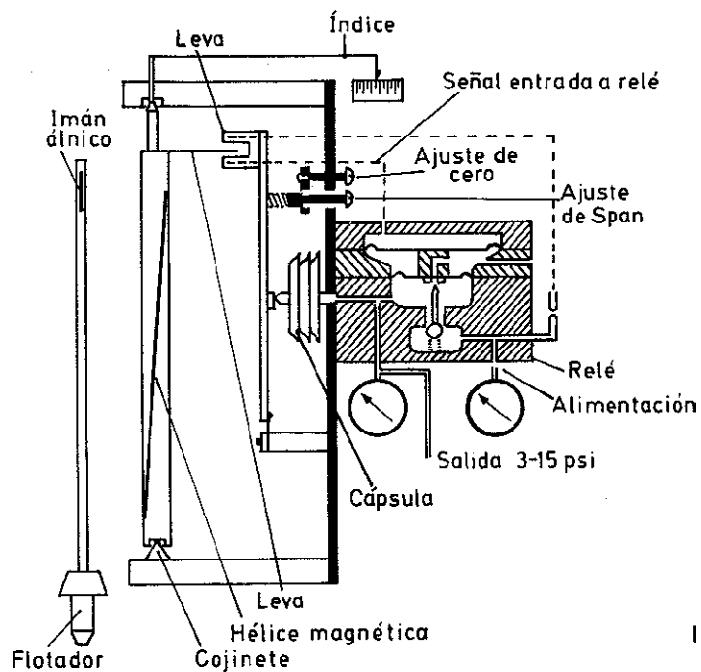


Figura 2. Antonio Creus Solé (1997). "Instrumentación Industrial"-MARCOMBO

Los rotámetros se utilizan también conectados a las tomas de una placa de orificio, es decir, como rotámetros by-pass, consiguiendo una escala de medida lineal.

Por medio de una prolongación del flotador, el rotámetro se puede conectar a un transductor potenciométrico o a un LVDT para sensar la posición y el movimiento del flotador, de modo que se tiene una salida eléctrica en función del caudal.

FLOTADOR FIJO

Los caudalímetros de flotador fijo se comportan básicamente como un rotámetro, aunque es menos preciso y más barato.

CAUDALÍMETRO DE PISTÓN

Los caudalímetros de pistón son menos sensibles a la viscosidad del fluido, resultando instrumentos más baratos para instalar en tuberías de 7,5 a 10 cm de diámetro. Deben usarse siempre con fluidos limpios, siendo los más habituales el agua, queroseno, gasolina, aceite y otros productos derivados del petróleo.

8.3.1.3 SENSORES OSCILATORIOS NO MECÁNICOS

8.3.1.3.1 SENSORES CON FORMACIÓN DE TORBELLINOS

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Este tipo de sensor se fundamenta en la determinación de la frecuencia del torbellino que es producido por una hélice estática que se encuentra en el interior de la tubería a cuyo través pasa el fluido.

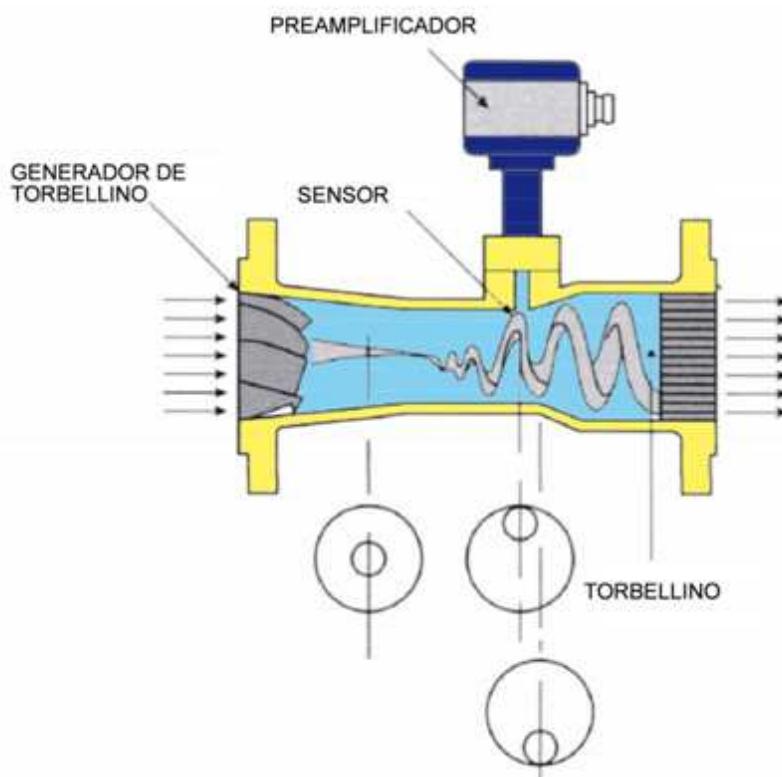


Figura 1.Sensor con formación de torbellinos.

La frecuencia del torbellino producido por la hélice es proporcional a la velocidad del fluido de acuerdo con la expresión conocida como el número de Strouhal.

$$S_t = \frac{f \cdot d}{v}$$

S_t = número de Strouhal.

f = frecuencia del torbellino.

d = anchura del torbellino.

v = velocidad del fluido.

El número de Strouhal es constante para números de Reynolds comprendidos entre 10000 y 1000000 y la anchura del torbellino es mantenida constante por el fabricante, con lo cual:

$$Q = s \cdot v$$

Q = caudal volumétrico del fluido.

s = sección de la tubería.

De modo que el caudal volumétrico del fluido resulta proporcional a la frecuencia del torbellino:

$$Q = \frac{f \cdot d \cdot s}{S_t} = f \cdot k$$

La frecuencia del torbellino se detecta mediante diversas alternativas:

-Aplicando sensores de presión de cristales piezoelectrinos que detectan los picos de presión en el lado contrario del torbellino.

-A través de una termistoria de muy baja inercia térmica que sigue los efectos de refrigeración del torbellino generado.

-Mediante un sensor capacitivo.

-Aplicando un haz de ultrasonidos perpendicularmente al torbellino, midiendo el tiempo de tránsito del haz desde el transmisor al receptor.

La precisión del instrumento es de $\pm 0,2\%$ del caudal instantáneo, por lo cual el error en tanto por ciento de la escala se hace mayor cuanto más bajo es el caudal.

APLICACIONES

El medidor tipo torbellino es utilizado para la medida del flujo de gases, vapores y líquidos en un amplio rango independiente de las propiedades del fluido.

8.3.1.3.2 SENSORES BASADOS EN EFECTO COANDA

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Este tipo de sensor está basado en la tendencia de un fluido en seguir el contorno de la superficie sobre la que incide, si la curvatura de la misma, o el ángulo de incidencia del fluido con la superficie, no son demasiado acentuados.

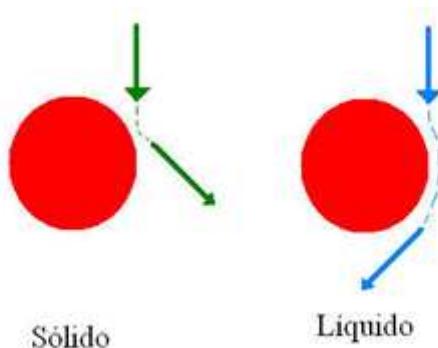


Figura 1. Efecto Coanda. Imagen tomada de
http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Coanda

Si un difusor establece en la trayectoria del flujo un ángulo lo suficientemente amplio, el fluido queda separado y se adhiere a una de las paredes del difusor. La adhesión a cualquiera de las dos paredes es aleatoria siendo susceptible el cambio de una a otra frente a cualquier perturbación. Por ello, en este tipo de sensores se crea una perturbación que causa la oscilación del fluido entre las dos paredes a una frecuencia proporcional a la velocidad del fluido y por lo tanto al caudal del mismo. Una vez el fluido, pasa por el canal interior del medidor pasa a un canal de retorno que lo dirige hacia la entrada del medidor reitiéndose el proceso.

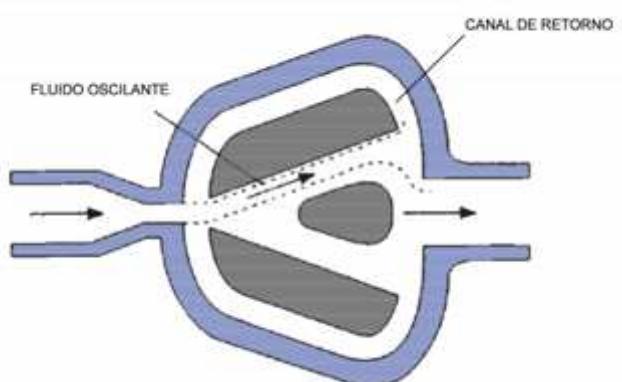


Figura 2.Caudalímetro basado en efecto Coanda.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Este tipo de medidor tiene una alta rangeabilidad.
- Tamaño compacto.
- No contiene partes móviles.
- No requiere costes de mantenimiento.

INCONVENIENTES

- Capacidad limitada.

APLICACIONES

Este tipo de medidor es apropiado para la medida de caudal de líquidos en situaciones en las que se requiera:

- Pequeño tamaño del medidor.
- Alta durabilidad.
- Bajo coste de mantenimiento.

8.3.1.3.3 MEDIDORES VORTEX

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El principio de funcionamiento del **medidor Vortex** es análogo al de **tipo torbellino**. Está basado en el efecto Von Karman, donde un cuerpo en forma de cono genera alternativamente vórtices (áreas de baja presión e inestabilidad) desfasados en 180°, cuya frecuencia es directamente proporcional a la velocidad y, por lo tanto al caudal.

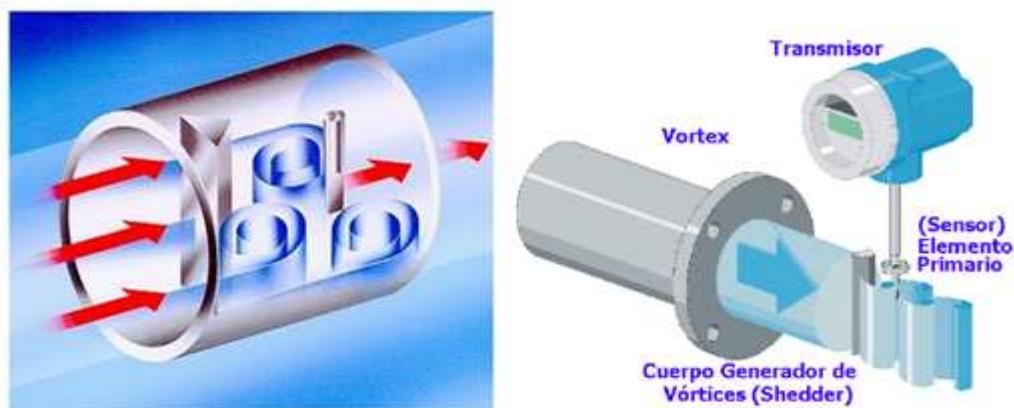


Figura 1. Medidor Vortex. Imagen tomada de <http://medirvariables.blogspot.com/>

$$f = S_t \frac{v}{d} \longrightarrow v = \frac{f \cdot d}{S_t(Re)}$$

f = Frecuencia angular de la turbulencia.

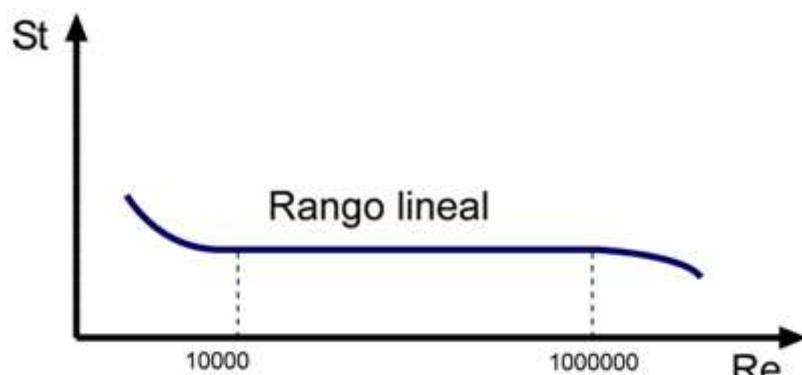
S_t = Número de Strouhal. Dependiente del número de Reynolds.

v = Velocidad del fluido.

d = Ancho del remolino.

La constante S_t varía en función del número de Reynolds del fluido a medir, por lo tanto la medida de velocidad obtenida puede ser distinta para cada tipo de fluido. Sin embargo, se mantiene constante en un rango de número de Reynolds comprendido entre 10.000 – 1.000.000.

Relación entre S_t y Re :



Así con un valor S_t independiente de Re para un amplio rango de éste, el medidor Vortex entrega mediciones fiables para una gran gama de fluidos distintos, los cuales presentan distintos valores de Re .

Un sensor piezoeléctrico dentro del medidor es el encargado de convertir la fuerza de presión resultante en señales de pulso eléctricos las cuales son amplificadas. Normalmente está situado detrás del cuerpo divisor de vórtices. Otros diseños utilizan sensores térmicos, discos o cilindros oscilantes.

Una vez amplificada la señal del piezoeléctrico, es enviada a un convertidor que finalmente genera una corriente (Normalmente entre 4 y 20 mA.)

Tiene una precisión del 1% y una rangeabilidad de 80:1.

La temperatura de operación se encuentra en el rango de 20 a 430°C.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Coste entre bajo y medio .
- Bajo requerimiento de mantenimiento, no necesita calibración periódica.
- Puede instalarse en cualquier posición.
- No contiene partes móviles.
- Alta resistencia frente a la corrosión, la presión y la temperatura.

INCONVENIENTES

- La medida afecta las características del flujo debido a la caída de presión originada por la inserción de un cuerpo en el flujo. Esto genera un error inherente al sistema en la determinación del caudal.
- Requiere tramos de cañerías rectas aguas arriba y aguas debajo de la medición.
- El intervalo de número de Reynolds entre 3000 y 10000 se considera no lineal.

APLICACIONES

El medidor Vortex es adecuado para la medición de vapores industriales, gases y líquidos conductores y no conductores, p.ej., vapor de agua (vapor saturado, vapor sobrecalentado), gases industriales (aire comprimido, nitrógeno, gases licuados, gases de escape) y líquidos conductores y no conductores (agua desionizada, agua de alimentación de caldera, disolvente, aceite de transmisión de calor).

Alguno de los campos de aplicación:

-Química

-Petroquímica.

-Aceite y gas.

-Centrales eléctricas:

-Aire

-Calefacción

-Refrigeración

-Refrigeración a baja temperatura.

-Alimentos y bebidas:

-Industria farmacéutica.

-Refinería de azúcar.

-Industria láctea.

-Cervecerías.

-Producción de refrescos.

-Refinerías.

No se usa para la medida de:

-Líquidos con sólidos en suspensión.

-Líquidos viscosos.

-Fluidos criogénicos.

-Líquidos que pueden solidificar o generar sarros.



Figura 2. Modelos de medidores Vortex. Imagen tomada de

<http://www.siemens.com/>

8.3.1.4 MEDIDORES DE IMPACTO

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

La placa de impacto es un medidor que aprovecha la fuerza de arrastre generada por el fluido al impactar sobre el mismo. Generalmente consiste en una placa instalada directamente en el centro de la tubería.

La fuerza originada es proporcional a la energía cinética del fluido y depende del área anular entre las paredes de la tubería y la placa.

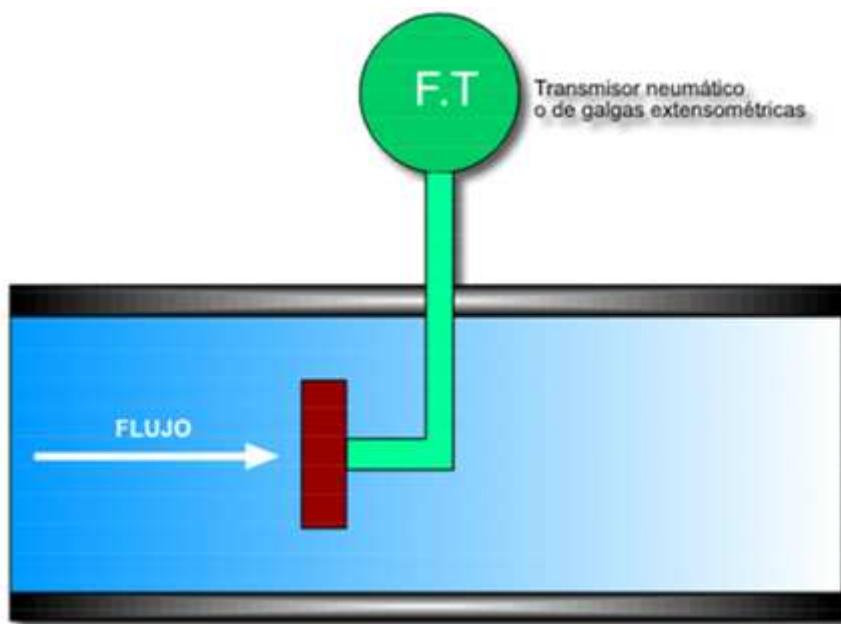


Figura 1. Placa de impacto.

Corresponde a la siguiente ecuación:

$$F = C_d \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot A$$

F = Fuerza total en la placa.

ρ = Densidad del fluido.

v = Velocidad del fluido.

A = Área de la placa.

C_d = Constante experimental.

El caudal volumétrico resulta:

$$Q = S \cdot v$$

S = Área de la sección interior de la tubería.

La placa está conectada a un transmisor neumático de equilibrio de fuerzas o bien a un transductor eléctrico de galgas extensométricas. Las galgas forman parte de un puente de Wheatstone de tal modo que la variación de resistencia es una función del caudal. El caudal es proporcional a la raíz cuadrada de la fuerza de impacto del fluido sobre la placa y por lo tanto, a la raíz cuadrada de la señal transmitida.

La precisión en la medida es $\pm 1\%$. El instrumento permite el paso de fluidos con pequeñas cantidades de sólidos en suspensión y puede medir caudales que van de un mínimo de 0,3l/min hasta 40000l/min.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Coste relativo medio
- Temperatura máxima de operación: 400°C.

INCONVENIENTES

- Poca capacidad.
- Escala no lineal.

APLICACIONES

La placa de impacto se utiliza para la medida de líquidos, permitiendo la medida de fluidos viscosos.

8.3.2 CAUDALÍMETROS NO INVASIVOS VOLUMÉTRICOS

8.3.2.1 CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Los caudalímetros **electromagnéticos** se basan en la ley de Faraday, la cual establece que el voltaje inducido entre dos puntos de un conductor, en este caso el fluido, que se mueve perpendicularmente a las líneas de flujo de un campo magnético es proporcional a la velocidad del conductor.

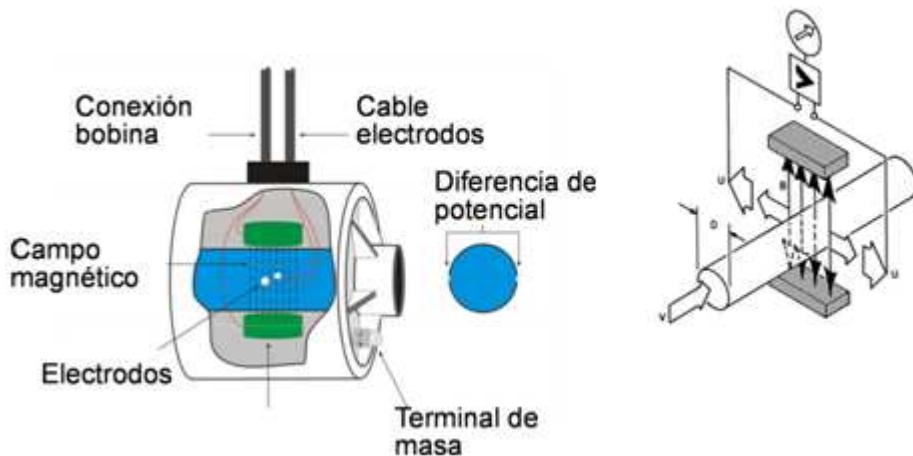


Figura 1. Sensor electromagnético. Imagen tomada de <http://www.flomotionsystems.com/magmeter3.jpg>)

La señal generada, E_s , es captada por dos electrodos rasantes con la superficie interior del tubo y diametralmente opuestos:

$$E_s = K \cdot B \cdot l \cdot v$$

E_s = Tensión generada en el conductor.

K = Constante.

B = Densidad del campo magnético.

l = Longitud del conductor.

v = velocidad del fluido.

$$\text{Dado que } Q = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \text{ resulta } Q = K \cdot \frac{E_s \cdot D}{B}$$

La tensión generada en el conductor, E_s , depende tanto de la velocidad del fluido como de la densidad del campo magnético, B , la cual a su vez está influida por la tensión de la línea y por la temperatura del fluido. Para obtener una señal que dependa únicamente de la velocidad, debe eliminarse la influencia de los demás factores, por ello la señal generada E_s es comparada con una señal de referencia E_r tomada de un arrollamiento colocado en los bobinados del campo que genera el flujo magnético y ajustable mediante un potenciómetro.

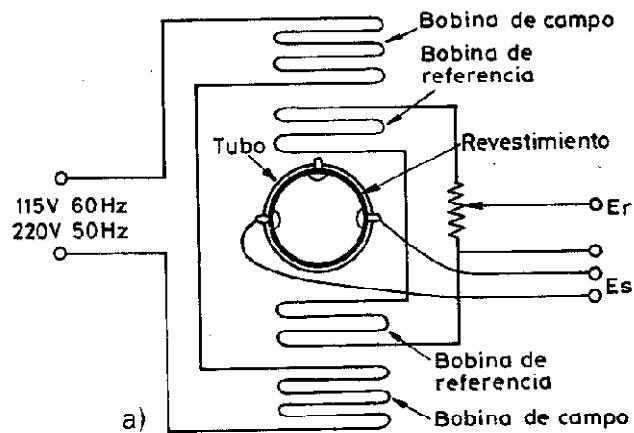


Figura 2. Configuración sensor electromagnético. Antonio Creus Solé (1997). “Instrumentación Industrial”. MARCOMBO

La relación $\frac{E_s}{E_r}$ es constante en todos los medidores de caudal.

Para conseguir una mayor inmunidad frente al ruido electromagnético procedente de entornos industriales, se conectan eléctricamente en by-pass las bridas de conexión del medidor y se ponen a masa, además de introducir en el medidor un tercer electrodo conectado a masa. De este modo, la unidad de medida está conectada a tierra con relación a dichas señales de ruido y es insensible a las mismas sin que sea necesario hacer ajustes de posición en la instalación.

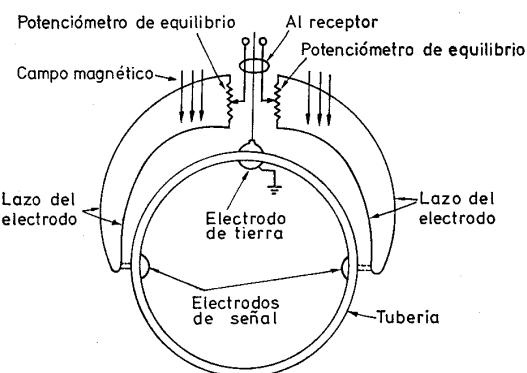


Figura 3. Configuración sensor electromagnético con tercer electrodo. Antonio Creus Solé (1997). “Instrumentación Industrial”. MARCOMBO

Es necesario también minimizar los efectos de los cambios en las corrientes parásitas así como las pérdidas en el hierro del circuito magnético debidas a las variaciones en la temperatura del ambiente o del proceso, mediante adecuados sistemas de compensación.

La medida del caudal en ambos sentidos de circulación del fluido puede efectuarse mediante dos técnicas:

- a) Mediante un interruptor que invierta las conexiones de la señal del receptor, la posición del interruptor indica el sentido del caudal, y la calibración del sistema permanece invariable en cualquier sentido.
- b) Elevando el cero del instrumento al 50 % de la escala, en cuyo caso, el índice indica automáticamente el sentido del caudal del líquido, al estar en la zona superior o inferior de la escala. La calibración del sistema permanece invariable y la indicación es de -50 – 50 % de la escala.

Puede montarse inclinado u horizontal siempre que se mantenga la tubería llena de líquido durante la medida.

Cuando el medidor de caudal es de menor diámetro que las tuberías de conexión deben colocarse reducciones con el fin de aumentar la velocidad del fluido y obtener así una velocidad mínima de 1m/s; así como para aumentar la velocidad de los sólidos en suspensión en servicio e impedir su sedimentación en la parte inferior del tubo.

El convertidor de la señal del elemento primario, puede ser de impedancias o estar basado en un microprocesador. Así mismo, se le pueden acoplar al medidor instrumentos para conseguir diferentes funciones auxiliares, que también puede aportar directamente el convertidor a microprocesador:

- Indicación con una escala lineal de 0-100 % de la escala.
- Transmisión neumática.
- Transmisión electrónica.
- Transmisión telemétrica con un transmisor de impulsos.
- Autocomprobación automática con diagnosis de fallo.
- Módulo de comunicaciones.
- Integración.
- Registro.

Los elementos magnéticos de caudal se calibran en fábrica utilizando un sistema dinámico de pesada y consiguiéndose así una precisión elevada de $\pm 0,1\%$.

Con el sistema completo, incluyendo el receptor, se obtiene una precisión de $\pm 1\%$ de toda la escala pudiéndose llegar a una mayor precisión, del orden de $\pm 0.5\%$, con una calibración especial y siempre que la conductividad sea elevada. El campo de medida entre el caudal máximo y el mínimo puede llegar a 100:1 con una escala de lectura lineal. La fidelidad del conjunto es de $\pm 0,25$.

La linealidad y precisión de estos caudalímetros depende de la red de tuberías en las se que encuentran instalados. Si esta red es tal que afecta considerablemente al perfil de

velocidades, también afectará tanto a la linealidad como a su exactitud y precisión. Generalmente el perfil de velocidades no vana como para afectar considerablemente a la linealidad, repetibilidad y reproducibilidad (superior al 0,1 %) pero será aleatorio que la precisión no se vea perjudicada.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

La tubería se construye con acero inoxidable no magnético, cubierto con politetrafluoretileno (PYFE), poliuretano, u otro material aislante parecido con el propósito de minimizar cortocircuitos y posibles desviaciones de la pequeña señal hacia las paredes metálicas. El tamaño varía desde 0,1" hasta 72". Los dos electrodos están incrustados atravesando las paredes de la tubería y situados diametralmente opuestos uno del otro a cada lado de ésta. Deben seleccionarse de acuerdo con su resistencia a la corrosión o a la abrasión en el caso de aplicaciones químicas. Generalmente se emplean el Hastelloy para soluciones corrosivas a temperaturas y concentraciones bajas, la aleación Haynes con fangos abrasivos, el platino frente a soluciones ácidas, el tantalio para la mayor parte de los ácidos con independencia de su concentración y el titanio frente a ácidos fuertemente concentrados a altas temperaturas, y a bases.

La tubería y conexiones llevan bridas para facilitar su conexión a una red.

Sobre la tubería, se construyen un par de bobinas conectadas directamente a la red que generan el campo magnético en el interior de la tubería. Un núcleo de acero laminado situado alrededor de las bobinas completa el circuito magnético.

Un compartimento de fundición de aluminio protege los componentes del ambiente e incluye una caja de conexiones de las bobinas y de los electrodos.

El transmisor está también alojado en una carcasa de fundición de aluminio y diseñado para convertir la pequeña señal que aparece en los electrodos en una señal proporcional de 4 a 20 mA, pudiéndose obtener como una tensión en continua y por pulsos.

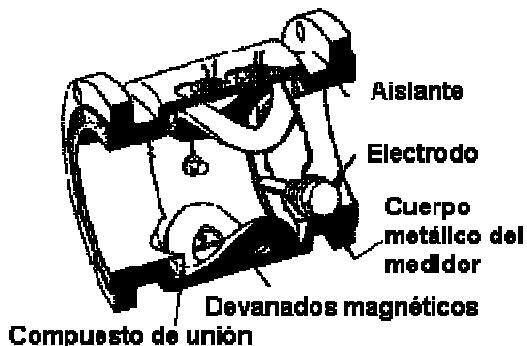


Figura 4. Características constructivas sensor electromagnético

Dentro de los modelos presentes en el mercado se pueden encontrar:

MEDIDORES ELECTROMAGNÉTICOS DE TUBO CORTO

Su geometría permite reducir el peso respecto a versiones anteriores pero introduce efectos negativos en la medición:

Si el sistema de tuberías adyacentes se encuentra también aislado o fabricado con material aislante, la señal del caudal no se verá atenuada. Si no es así, la señal del caudal se atenuará progresivamente al acortar la longitud del tubo. Si los tubos y el material cercano es magnético, el campo magnético se verá distorsionado, especialmente si la longitud se acorta y sus extremos pasan a ser una parte importante del circuito magnético. Además su factor de calibración puede ser diferente del obtenido en condiciones de referencia, llegando a ser más sensibles a perfiles de velocidad distorsionados que los instrumentos convencionales.

MEDIDORES ELECTROMAGNÉTICOS CON GRANDES ELECTRODOS

Su finalidad es conseguir baja susceptibilidad a las variaciones del perfil de velocidad del caudal. Sin embargo, sus dimensiones hacen que sea más susceptible a las incrustaciones por contaminantes, y las señales pueden sufrir cambios graduales.

MEDIDORES ELECTROMAGNÉTICOS AISLADOS DEL FLUIDO

Los electrodos están detrás de una envuelta dieléctrica, dando una forma de acoplamiento capacitivo entre la tensión inducida y el electrodo. Este tipo de dispositivos están en fase experimental, y pueden darse problemas de captación de señales parásitas de fuentes externas. Pueden usarse para la medida de líquidos de baja conductividad.

MEDIDORES ELECTROMAGNÉTICOS DE INSERCIÓN.

Tienen una disposición dentro de la tubería similar al tubo de Pitot. El medidor se inserta en la corriente del líquido. Las bobinas, totalmente encapsuladas y aisladas, se pueden sumergir en el líquido. Sus dimensiones reducidas y forma aerodinámica, reducen sensiblemente el error en la medida de velocidad. Se utilizan para medir velocidades en grandes tuberías o conductos de diversas formas.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

-No contienen partes móviles, no presentan efectos de histéresis.

-Su pérdida de carga es baja y corresponde a la de una tubería del mismo diámetro y de la misma longitud.

-No ocasionan ninguna restricción en la circulación.

-No se ven afectados por variaciones en la densidad, viscosidad, presión, temperatura y, dentro de ciertos límites, conductividad eléctrica.

-Pueden medir caudales en ambos sentidos de circulación del fluido en la tubería.

-Pueden medir el caudal de metales líquidos, aunque este tipo de sensores requieren una fabricación más delicada.

-Generalmente no se requiere una longitud recta de tubería antes del medidor, sin embargo, la existencia de accesorios que pueden provocar la formación de filetes de caudal asimétricos, obliga a situar el elemento a unos 5 D de tubería o más a partir de la conexión aguas arriba, incluso a 8 D cuando está situado en la impulsión de una bomba.

-No requieren ajustes antes de la puesta en marcha.

-La señal de salida es fundamentalmente lineal.

INCONVENIENTES

-Coste relativo alto.

-El líquido cuyo caudal se mide tiene que tener una razonable conductividad eléctrica.

-La energía disipada por las bobinas da lugar al calentamiento local del tubo del medidor.

APLICACIONES

Los medidores magnéticos de caudal son adecuados para la medida de líquidos conductores, en particular los líquidos fangosos y fluidos corrosivos.

Los fluidos que contienen partículas magnéticas en suspensión pueden medirse con este tipo de medidor, siempre que las partículas estén en suspensión homogénea al pasar a través del elemento.

Las principales aplicaciones de los caudalímetros electromagnéticos se encuentran en estos sectores:

-Aguas y aguas residuales.

-Industria química y farmaceútica.

- Industria alimenticia y de bebidas.
- Industria de minería, cemento y mineral.
- Industria de celulosa y papel.
- Industria del acero.
- Economía energética, empresas de abastecimiento, energía frigorífica.



Figura 5. Modelos de sensores electromagnéticos. Imagen tomada de
<http://www.siemens.com/>

8.3.2.2 SENSORES DE ULTRASONIDO Y LÁSER

Para la medida de flujo mediante sensores de ultrasonidos se usan diversos principios. Normalmente se precian uno o más pares de transductores, excepto en el método de “ruido”, en el que se usa un solo transductor que detecta las variaciones del nivel sonoro en el tubo. Los transductores son emisores o receptores de energía ultrasónica o pueden operar de ambas maneras. Un transductor usado como emisor de sonido se denomina “activo”, mientras que un transductor usado solamente en recepción se denomina “pasivo”. El transductor puede estar en contacto con el fluido a medir o acoplado al exterior del tubo (tipo abrazadera).

La configuración más típica es la de un par de transductores, determinando la velocidad del flujo por la medida de la velocidad de propagación del sonido por el

fluído. Los cambios de velocidad, usando señales tanto continuas como pulsadas, pueden ser medidas en términos de diferencia de tiempo recorrido, diferencia de fase o diferencia de velocidad.

Dos de los modelos más utilizados son:

-CAUDALÍMETROS DE EFECTO DOPPLER.

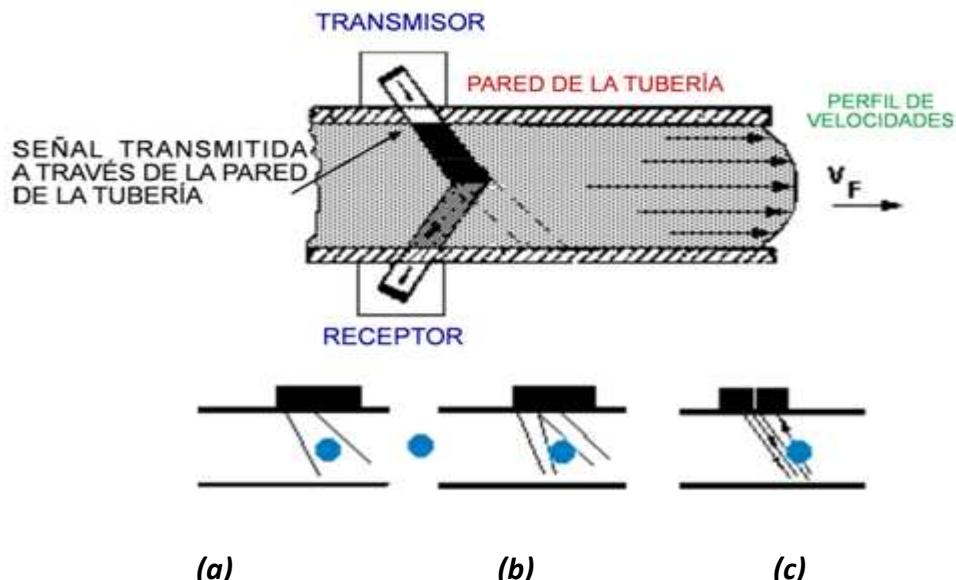


Figura 1. Configuración caudalímetro de efecto Doppler. (a)Único transductor; (b)Transductor dual; (c) Transductor dual separado en el mismo lado de la tubería.

-CAUDALÍMETROS DE TIEMPO TRÁNSITO.

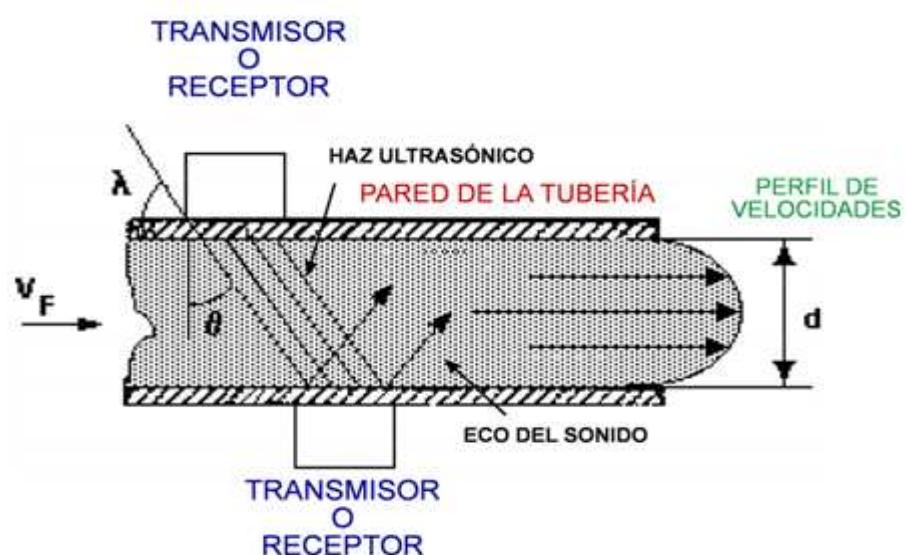


Figura 2.Caudalímetro de tiempo tránsito.

En todos estos sistemas, se utilizan transductores piezoelectricos tanto para la emisión como para la recepción de las ondas ultrasónicas:

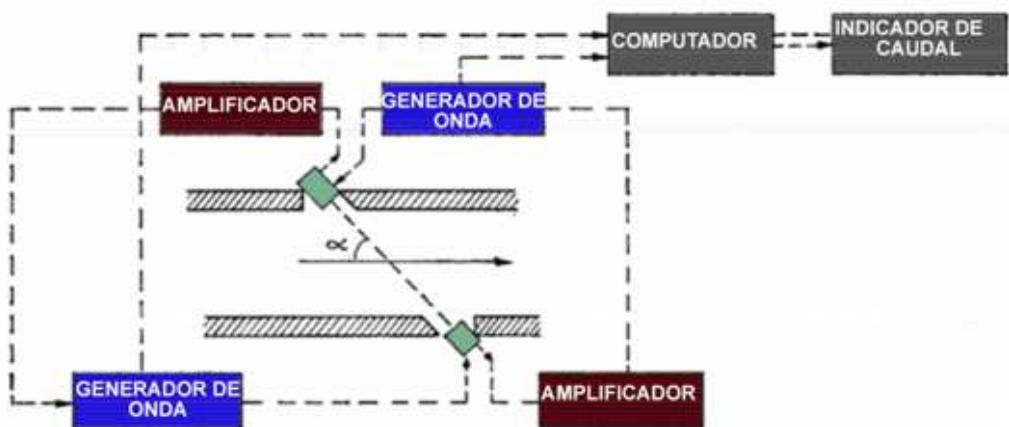


Figura 3. Diagrama de bloque de un caudalímetro de ultrasonidos. Antonio Creus Solé (1997). "Instrumentación Industrial". MARCOMBO

Cada uno de los dos transductores alternan funciones de recepción y transmisión de energía electromagnética en rango ultrasónico. (La frecuencia de ultrasonidos puede acercarse al rango del megahercio). La salida, entendida como diferencia de frecuencias, puede convertirse en señal analógica si se desea. Si es necesario, en la sección del tubo pueden adicionarse sensores de temperatura y presión.

Algunos sensores de flujo ultrasónicos utilizan cuatro transductores en configuración de forma de "X" cuyas salidas son integradas o mediadas para obtener mayor precisión.

Los medidores de caudal ultrasónicos del tipo abrazadera, son bastante típicos en instalaciones semipermanentes y especialmente en inspecciones de flujo en sistemas con tubos de diferentes dimensiones.

Algunos medidores de caudal incluyen los medidores de emisión de vórtices, detectando oscilaciones ultrasónicas del vórtice y detectores acústicos pasivos que responden al ruido que aumenta con la velocidad del flujo; este último tipo se encuentran como interruptores de flujo.

Los transductores sónicos tienen una precisión de $\pm 2\%$ y un intervalo de medida de caudales de 20 a 1 con una escala lineal. Son adecuados en la medida de la mayor parte de líquidos, en particular de los líquidos con sólidos en suspensión con la salvedad de que las partículas o las burbujas de aire que pueda contener el líquido no deben compararse en tamaño con la longitud de la onda acústica. Son sensibles a los cambios de densidad del líquido que varían la velocidad del sonido.

8.3.2.2.1 SENSORES DE SISTEMAS MODULADOS POR IMPULSOS

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Los caudalímetros de **tiempo tránsito** están modulados por impulsos, miden el tiempo de retardo entre la transmisión y recepción de un haz ultrasónico expuesto diagonalmente a través de la tubería.

Dada una temperatura y presión de operación, los ultrasonidos viajan a una velocidad concreta a través del líquido. El sonido se trasladará más rápidamente si se emite en el sentido de circulación del fluido que en el sentido contrario. La diferencia entre el tiempo de llegada de los pulsos que viajan en sentido del fluido y en sentido contrario se puede conocer la velocidad del fluido.

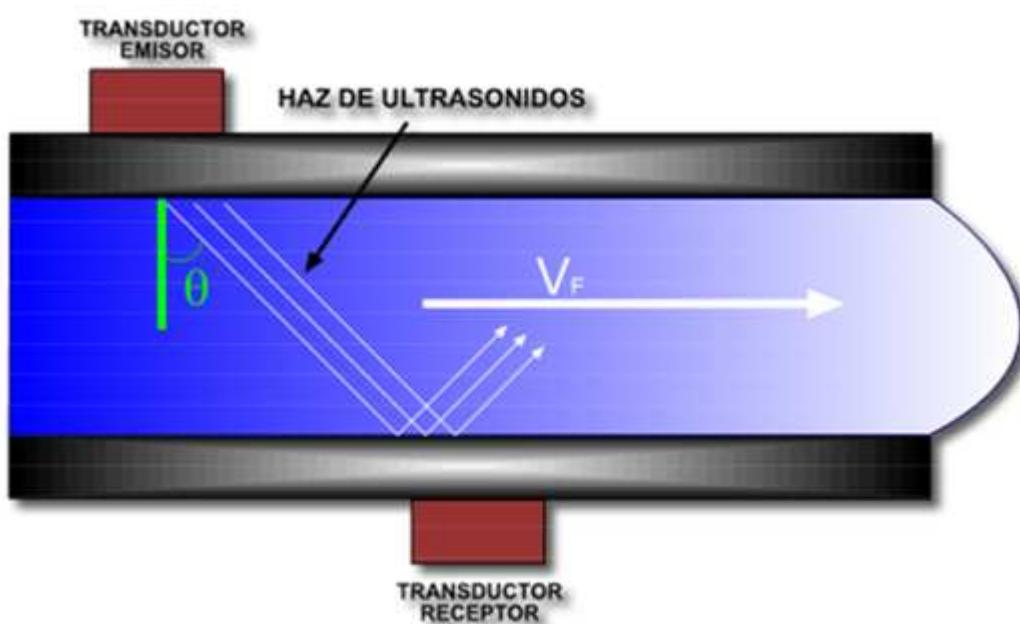


Figura 1. Caudalímetro de ultrasonidos por tiempo tránsito.

La velocidad resulta proporcional a la diferencia de tiempos:

$$V_F = \frac{\Delta t}{T_L} \cdot \frac{V_s}{\operatorname{sen}\theta} = K \cdot \frac{\Delta t}{T_L}$$

T_L = Tiempo tránsito del haz con velocidad del fluido nula.

θ =Ángulo del haz de ultrasonidos respecto a una dirección normal a la tubería.

Δt =Diferencia temporal entre los haces de ultrasonidos.

V_s = Velocidad del sonido en el fluido.

En este caso, la presencia de burbujas de aire o partículas en suspensión es indeseable, ya que interfieren la transmisión y recepción del haz de ultrasonidos.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Baja pérdida de carga
- Diseño compacto y pequeño tamaño.
- Costes de instalación y mantenimiento bajos.
- No hay riesgos de corrosión en un medio agresivo.
- No es necesario que el fluido contenga partículas o gases en suspensión que sirvan como reflectores.
- No tiene partes móviles.

INCONVENIENTES

- Coste relativo alto.
- Requiere tramos rectos de tubería aguas arriba y aguas abajo.

APLICACIONES

Este tipo de medidor es adecuado para la medición de líquidos con buena permeabilidad acústica, con independencia de la conductividad, la viscosidad, la temperatura, la densidad y la presión.

Algunos campos de aplicación:

- Afluencia del agua sin tratar en plantas de tratamiento de agua.
- Aguas residuales tratadas.
- Producción de energía y suministro de energía.
- Industrias del petróleo, gas y petroquímica.
- Sistemas de riego.
- Instalaciones de agua de refrigeración en el sector industrial y en centrales eléctricas.
- Instalaciones para el transporte de líquidos no conductores.



Figura 2. Modelos de sensores ultrasónicos por tiempo tránsito. Imagen tomada de <http://www.siemens.com/>

8.3.2.2.2 SENSORES DE EFECTO DOPPLER

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

En el sensor ultrasónico de **efecto Doppler** una onda ultrasónica de frecuencia constante se transmite al fluido mediante un transductor emisor. Las partículas sólidas o burbujas presentes en el fluido reflectan la onda de sonido hacia el transductor receptor.

El principio Doppler establece que se produce un cambio en la frecuencia o longitud de onda cuando existe un movimiento relativo entre el transmisor y el receptor. En el medidor Doppler el movimiento relativo de las partículas en suspensión que posee el fluido, tienden a comprimir el sonido en una longitud de onda más corta (mayor frecuencia). Esta nueva frecuencia se mide en el elemento receptor y se compara electrónicamente con la frecuencia emitida.

El cambio de frecuencia es directamente proporcional a la velocidad del flujo en la tubería.

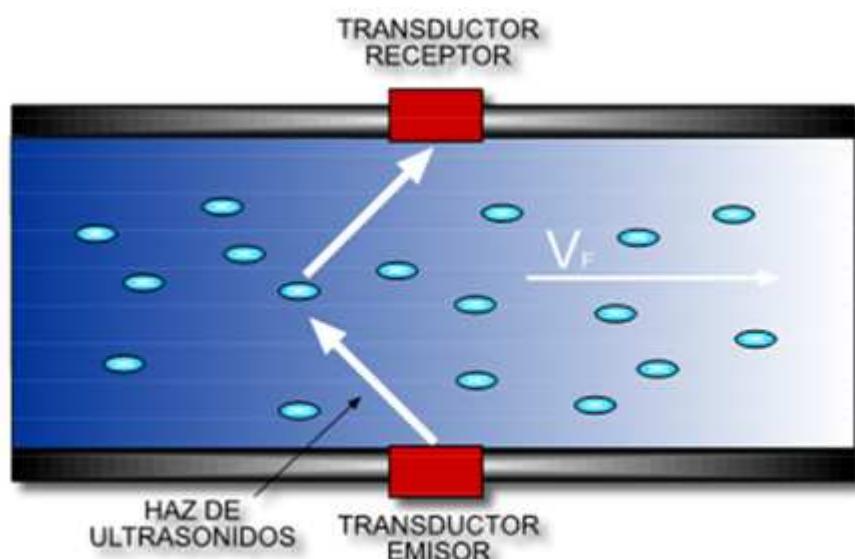


Figura 1. Caudalímetro de ultrasonido por efecto Doppler.

$$V_F = \frac{\Delta f}{f_T} \cdot \frac{V_T}{\operatorname{sen}\theta} = K \cdot \Delta f$$

f_T = Frecuencia de emisión del haz.

θ_T = Ángulo del haz de ultrasonidos.

Δf = Variación de la frecuencia debido al efecto Doppler.

V_F = Velocidad del fluido.

La frecuencia de los ultrasonidos puede alcanzar los MHz.

El **anemómetro láser (ALD)** es un caso particular del caudalímetro de efecto Doppler que utiliza un haz de luz coherente en lugar de ultrasonidos. Existen dos modos de operación más utilizados que otros:

El **modo haz de referencia** que utiliza un haz láser dirigido hacia el fluido en movimiento y un haz de referencia dirigido hacia el fotodetector, que además rastrea la luz proveniente del fluido en movimiento.

El **modo Doppler diferencial** que utiliza dos haces que convergen en un punto del fluido en movimiento en donde producen una interferencia a zonas. El principio óptico de este dispositivo se basa en el interferómetro Michelson, el haz laser se divide en dos haces ortogonales mediante un separador de haces. Un haz se aplica directamente sobre un espejo plano que lo refleja retornando al separador de haz. El otro haz se aplica a un espejo que se desplaza a lo largo del haz, y cuyo desplazamiento quiere ser medido, o a un reflector del que se refleja el haz hacia un espejo plano fijo. En último caso es el desplazamiento del reflector el que se quiere medir. El segundo espejo retorna el haz por el camino inverso al separador de haces. Aquí el haz se recombina e interfiere (ópticamente), con el haz de referencia. La interferencia es constructiva cuando la diferencia entre los dos caminos es un número entero de longitudes de onda; es destructiva cuando la diferencia de caminos es un número impar de medidas longitudes de onda. Cuando el reflector se mueve y varía la diferencia de caminos, el fotodetector (detector luminoso) detecta una franja de interferencia por cada longitud de onda. El desplazamiento se determina como un conteo de franjas, esto proporciona una salida digital de elevada precisión.

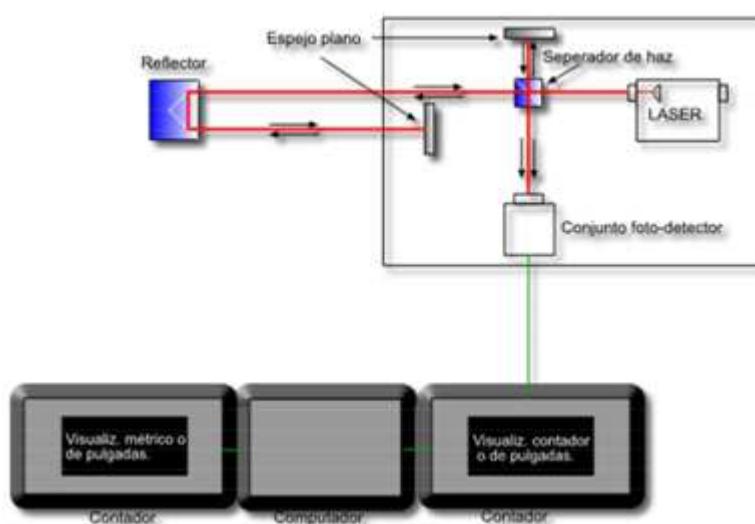


Figura 2. Sistema interferómetro láser.

Es necesario que la tubería sea transparente con el fin de permitir el paso de la luz y su difracción.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Baja pérdida de carga.
- Diseño compacto y pequeño tamaño.
- Costes de instalación y mantenimiento bajos.
- No hay riesgos de corrosión en un medio agresivo.
- No tiene partes móviles

INCONVENIENTES

- Coste relativo alto.
- La calibración de este instrumento es difícil, ya que exige conocer bien el perfil de velocidades del fluido y que las partículas se encuentren distribuidas de forma uniforme.
- Precisan que el fluido contenga partículas o gases en suspensión que sirvan como reflectores.
- Es altamente dependiente de las características de las partículas en suspensión dentro del fluido (material, geometría, densidad).
- Es dependiente de la conductividad sónica (impedancia acústica) del fluido.
- Es sensible a cambios de presión y temperatura en el fluido.
- Requiere tramos rectos de tubería aguas arriba y aguas abajo.

APLICACIONES

Se aplica a fluidos con gran proporción de partículas en suspensión, líquidos mezclados con altas concentraciones de gases.



Figura 3. Modelos de sensores ultrasónicos. Imagen tomada de <http://www.siemens.com/>

8.3.2.3 OTROS

SENSORES DE FLUJO NUCLEÓNICOS

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Los sensores de flujo nucleónicos se basan en la inyección de un elemento radioisótopo o bombardeo de neutrones, de una porción de un fluido en movimiento, la cual se convierte parcialmente en radiactiva. La cantidad de radioactividad, detectada en un punto avanzado del fluido por un sensor de radiación, es indicativo de la velocidad del flujo, dada por los cambios en el contador del detector de radiación.

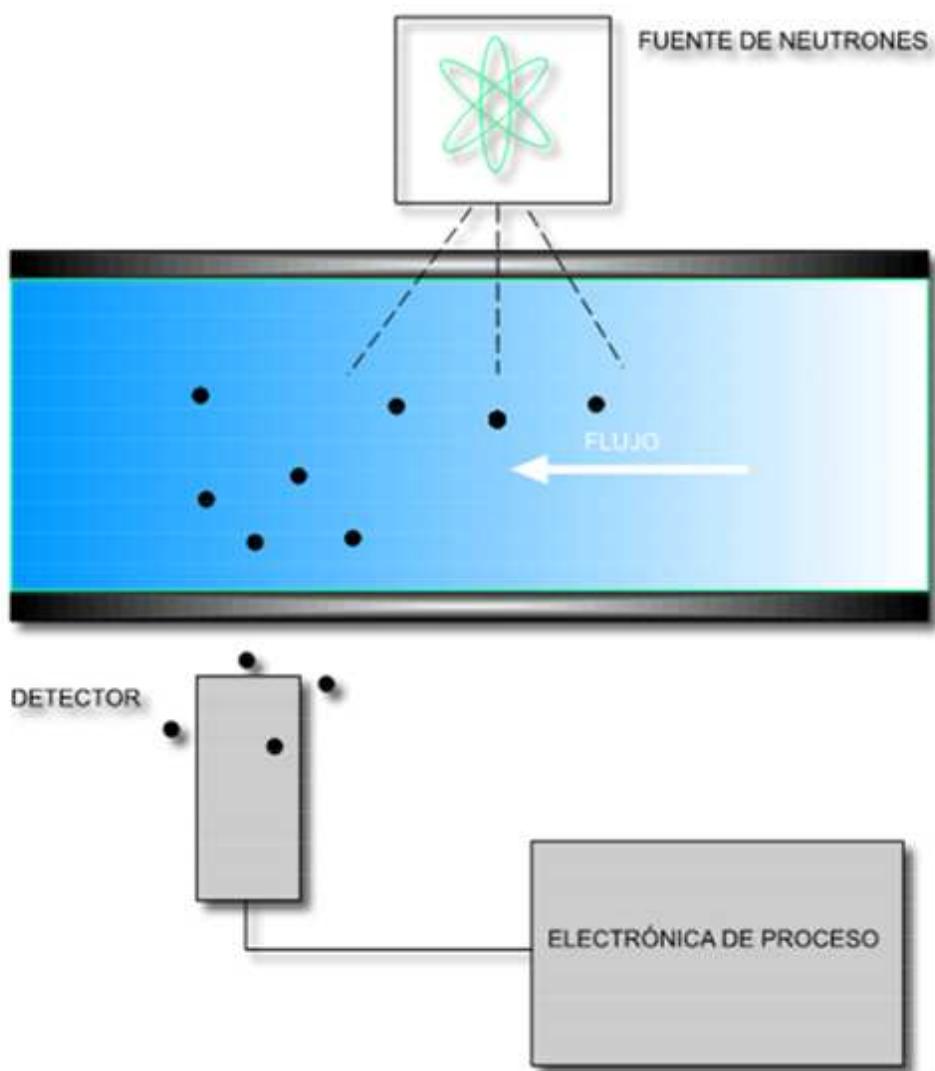


Figura 1. Sensor de flujo nucleónico

APLICACIONES

Este método es utilizado a veces para la medida de fluidos con “dificultades” (multifase o fluidos de composición variable, grasas o suspensiones).

8.3.3 CAUDALÍMETROS MÁSICOS

8.3.3.1 SENsoRES DE MEDIDA INDIRECTA DE CAUDAL MÁSICO

La medición del caudal másico con precisión y fiabilidad tiene gran interés si se tiene en cuenta que en la mayoría de los procesos se producen cambios en la densidad del fluido a medir; estos cambios implican una variación del flujo másico para un caudal volumétrico constante.

La medida de caudal de masa puede efectuarse a partir de una medida volumétrica mediante la adecuada compensación para las variaciones de densidad del fluido, o bien determinando directamente el caudal de masa aprovechando las características medibles de la masa del fluido.

En los **Líquidos**, dado que son incompresibles, la densidad varía por los cambios en la temperatura del fluido. Por ello, se instala un transmisor que mide la densidad en condiciones de servicio y aplica su salida directamente al transmisor de caudal para efectuar así la corrección de la medida de caudal.

Dado el caudal de un fluido incompresible :

$$Q_P = \sqrt{K(p_a - p_c)}$$

K=Constante.

$p_a - p_c$ = Presión diferencial creada por el elemento.

p_0 = Presión diferencial creada por el elemento.

La señal de presión diferencial $p_a - p_c$ debe multiplicarse por la señal del transmisor de densidad. El campo de medida del transmisor de densidad se fija de tal modo que el factor de corrección sea 1 cuando la densidad transmitida corresponde a la de cálculo.

Si el transmisor de densidad mide ésta en condiciones estándar de temperatura, la señal de salida correspondiente debe corregirse manual o automáticamente para las variaciones de temperatura de la línea antes de introducirla en el compensador.

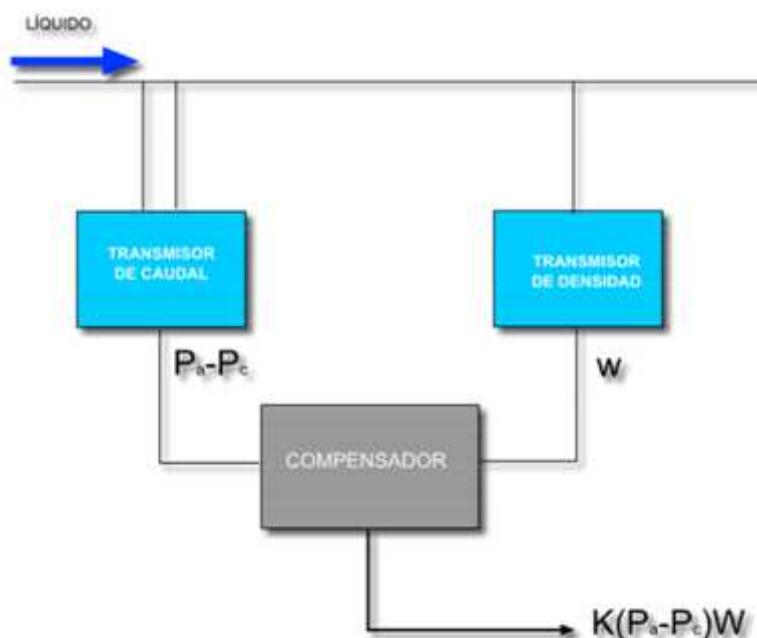


Figura 1. Compensación de variaciones de densidad de líquidos.

En **gases**, la formula simplificada toma la misma forma que la fórmula para líquidos si se introduce el factor de expansión en la constante K:

$$Q_P = \sqrt{K(p_a - p_c)}$$

K=Constante, en el que viene introducido el factor de expansión.

$p_a - p_c$ = Presión diferencial creada por el elemento.

p_0 = Presión diferencial creada por el elemento.

Se puede emplear varios métodos para efectuar la compensación de las variaciones de densidad, según sean las condiciones de servicio y la precisión que se desee llevar a cabo:

- A) Registrar la temperatura o presión, o ambas y calcular las correcciones.
- B) Compensar automáticamente el caudal sólo para la variable que cambia.
- C) Compensar automáticamente el caudal para los cambios en la densidad sólo si se esperan variaciones considerables en todas las condiciones de servicio.

En este caso puede operarse de dos formas:

- 1.- Medir la densidad en condiciones de servicio y compensar así de modo directo y automáticamente el caudal.
- 2.- Medir la densidad en condiciones de referencia y corregirla manual o automáticamente para las variaciones de temperatura (líquido) o temperatura y presión (gas, considerando la compresibilidad constante).

Dada la expresión de la densidad de gas a 0 ° C y 1 atmósfera absoluta de presión es :

$$\rho_r = \frac{P}{1} \cdot \frac{273}{T} \cdot \rho_s$$

P=Presión absoluta de servicio.

T=Temperatura absoluta de servicio.

ρ_s=densidad del gas a 0 ° C y 1 atmósfera.

La expresión del caudal queda:

$$Q_P^2 = K(p_a - p_c) \cdot \frac{P}{1} \cdot \frac{273}{T} \cdot \rho_s = K'(p_a - p_c) \cdot \frac{P}{T}$$

En la **Figura 2.** están representadas varias configuraciones de compensadores neumáticos de temperatura y/o presión:

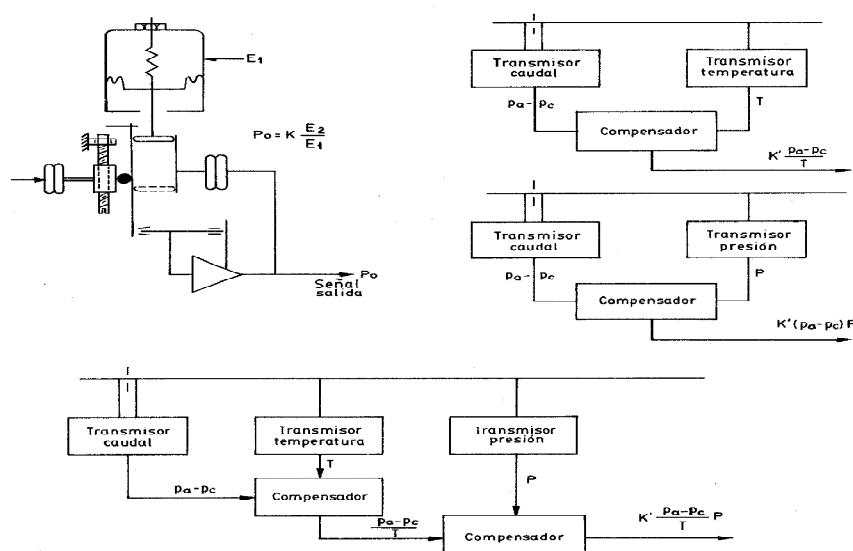


Figura 2. Compensadores neumáticos de temperatura y/o presión. Antonio Creus Solé (1997). "Instrumentación Industrial". MARCOMBO

En el caso de que la compensación sea mediante instrumentos electrónicos, puede operarse de varias formas:

- A) Mediante una unidad compensador (multiplicador-divisor) que trabaja con un transmisor de presión diferencial, un transmisor de presión absoluta PP/I de 4-20 mA y un transmisor de temperatura TC/I de 4-20 mA.

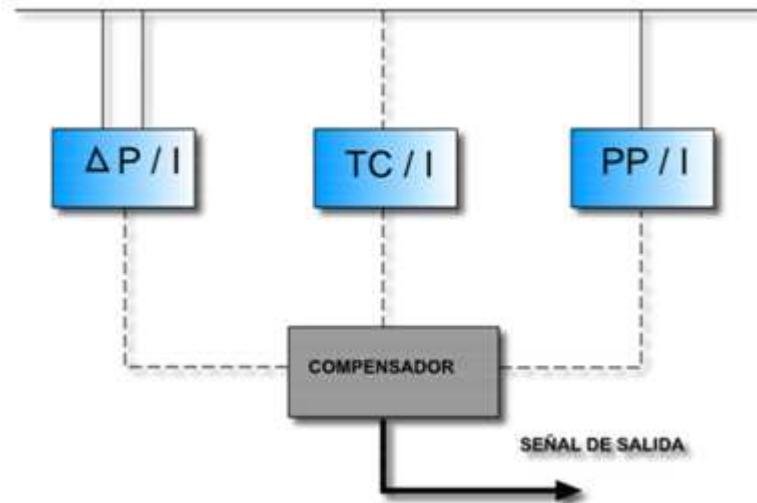


Figura 3. Unidad compensadora.

- B) Mediante una unidad calculadora que compensa el caudal de gas para las variaciones de temperatura y presión con correcciones manuales de peso específico y compresibilidad.

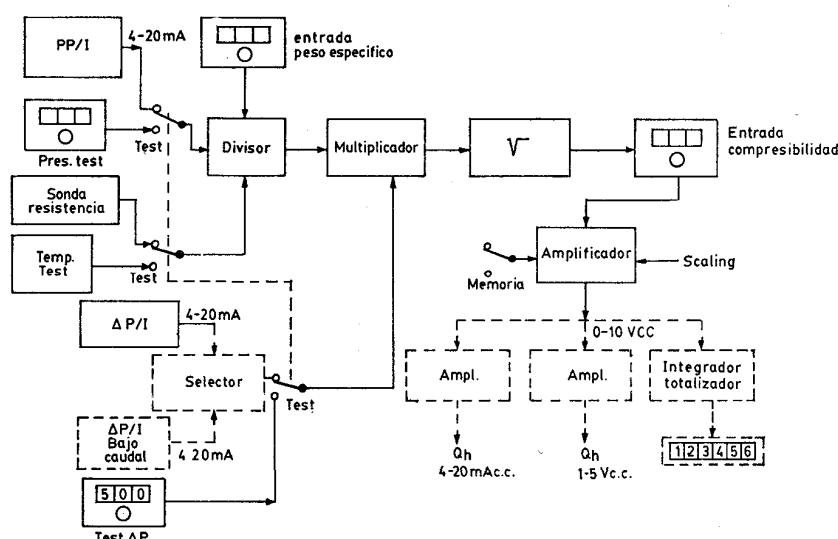


Figura 4. Unidad calculadora de caudal masa por compensación de temperatura y presión. Antonio Creus Solé (1997). “Instrumentación Industrial”. MARCOMBO

C) A través de una unidad calculadora que compensa el caudal de gas para las variaciones de densidad del gas con correcciones manuales del peso específico.

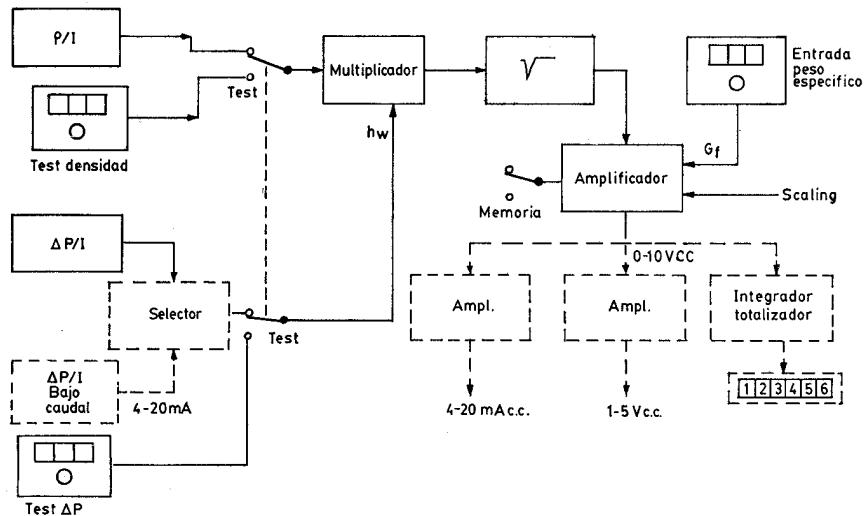


Figura 5. Unidad calculadora de caudal masa por compensación de densidad.
Antonio Creus Solé (1997). "Instrumentación Industrial". MARCOMBO

A través de un compensador digital con microprocesador:

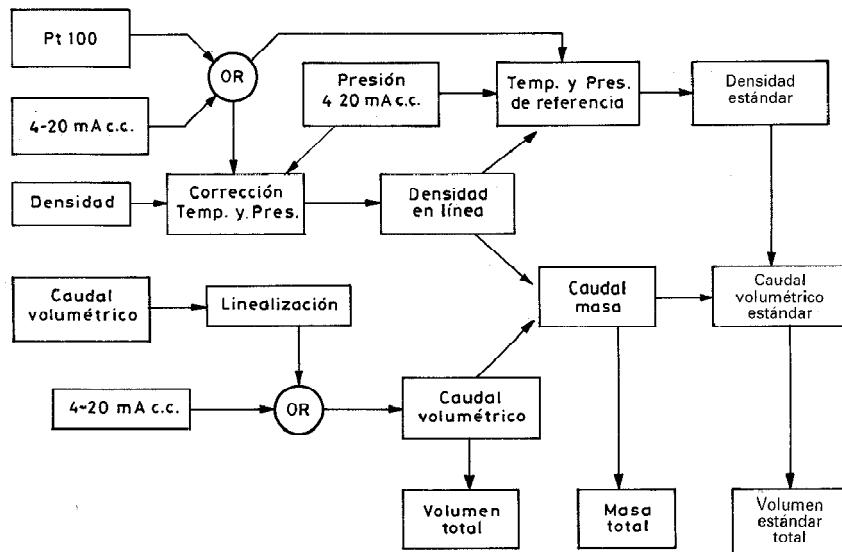


Figura 6. Computador de caudal. Antonio Creus Solé (1997). "Instrumentación Industrial". MARCOMBO

En cada uno de los sistemas discretos, la precisión final de la medida depende de la influencia de todos los componentes empleados incluyendo los elementos primarios y los instrumentos finales tales como receptores, integradores, controladores, etc..

8.3.3.2 SENSORES DE MEDIDA DIRECTA DE CAUDAL MÁSICO

8.3.3.2.1 CAUDALÍMETROS AXIALES

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Los **medidores axiales** se basan en el principio de conservación del momento angular de los fluidos:

Partiendo de

$$Z = I \cdot \alpha$$

$Z = Par.$

$I = Momento de inercia$

$A = Aceleración angular$

Y dado que $I = m \cdot r^2$, $H = I \cdot w$ se llega a

$$\frac{m}{t} = \frac{Z}{r^2 w}$$

$H = Momento angular.$

$m = Masa.$

$t = Tiempo.$

$r = Radio de giro.$

$w = Velocidad angular.$

Comunicando al fluido un momento angular y manteniendo constante la velocidad angular, la medición del par producido permitirá determinar el caudal de masa ya que r^2 es constante en el sistema.

Dentro de los medidores de momento angular podemos encontrar el **medidor axial de una turbina** o el **medidor axial de doble turbina**.

El **medidor axial de una turbina** consiste en un rotor radial con canales de paso del fluido, que gira a una velocidad constante por acoplamiento magnético con un motor síncrono, comunicando al fluido un momento angular. Una turbina adyacente al rotor impulsor elimina el momento angular del fluido y recibe un par proporcional al mismo. La turbina está frenada por un resorte y su posición angular es proporcional al par, obteniendo así la medida del caudal de masa.

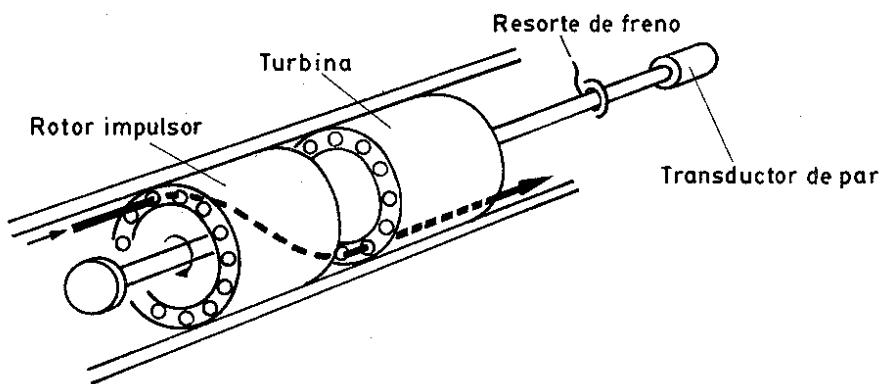


Figura 1. Medidor axial de una turbina. Antonio Creus Solé (1997).
“Instrumentación Industrial”·MARCOMBO

El **medidor axial de doble turbina** contiene dos turbinas montadas en el mismo eje y enlazadas con un dispositivo de torsión calibrado. Las palas de las turbinas son de ángulos distintos y tienden a girar a velocidades angulares distintas. La unión a través del dispositivo de torsión causa un desfase entre las mismas que es una función del par del sistema. Cada turbina tiene un captador que da un impulso por cada vuelta. El impulso de la turbina anterior abre un circuito puerta y el de la posterior lo cierra. Durante el tiempo de apertura se excita un oscilador y el número de oscilaciones indica el desfase angular entre las dos turbinas. El ángulo da el valor del par, que es proporcional a la medida del caudal de masa.

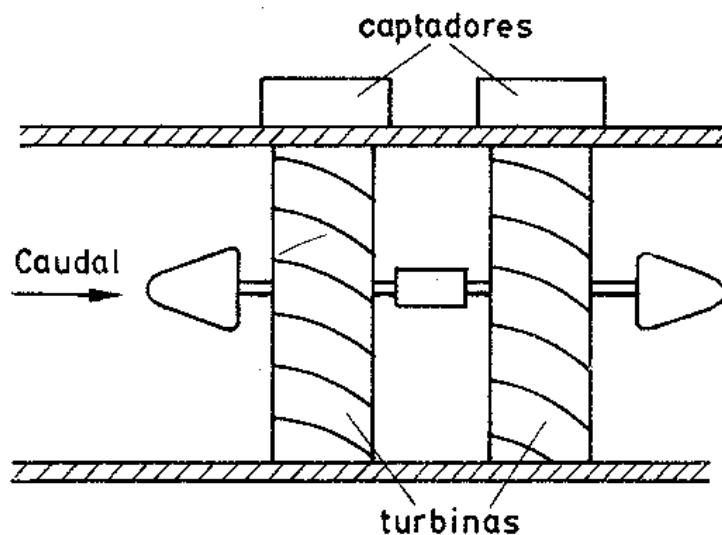


Figura 2. Medidor axial de dos turbinas. Antonio Creus Solé (1997).
“Instrumentación Industrial”·MARCOMBO

En la figura 3 puede observarse un diagrama de bloques del principio de operación del medidor:

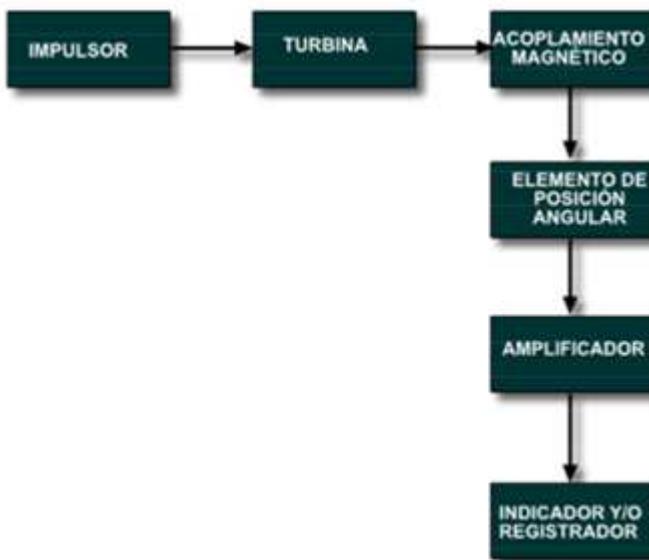


Figura 3. Diagrama de bloques de un medidor axial.

Los medidores axiales tienen una precisión de $\pm 1\%$ del valor leído con un intervalo de medida de caudales entre el valor máximo y el mínimo de 5 a 1.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Sistema de medida sencillo.
- Baja pérdida de carga del medidor.

INCONVENIENTES

- Coste relativo alto.
- Inexacto para caudales bajos.
- Sólo puede medir caudales en un solo sentido.
- Incapaz de medir variaciones rápidas en el caudal.
- Baja rangeabilidad.

APLICACIONES

El medidor axial se utiliza tanto para la medida de líquidos como de gases de bajos caudales. Su principal campo de aplicación es la medida de combustibles de aviones, aunque con el tiempo está siendo sustituido por otros dispositivos de medición de caudal.

8.3.3.2.2 CAUDALÍMETROS TÉRMICOS

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El medidor **térmico** se basa en el principio por el cual la temperatura de un fluido se incrementa en su paso por un cuerpo caliente. El primer medidor de flujo térmico fue descrito por C.C. Thomas, en 1911, y desarrollos de diseño posteriores no alteran sustancialmente los componentes básicos de este diseño:

Consta de una fuente eléctrica de alimentación de precisión que proporciona un calor constante al punto medio del tubo por el cual circula el caudal. En puntos equidistantes de la fuente de calor se encuentran sondas de resistencia para medir la temperatura a través de un puente de Wheatstone. Cabe señalar que anteriormente se usaban termopares para la determinación de la temperatura, sin embargo han sido sustituidos en la actualidad por sensores resisitivos.

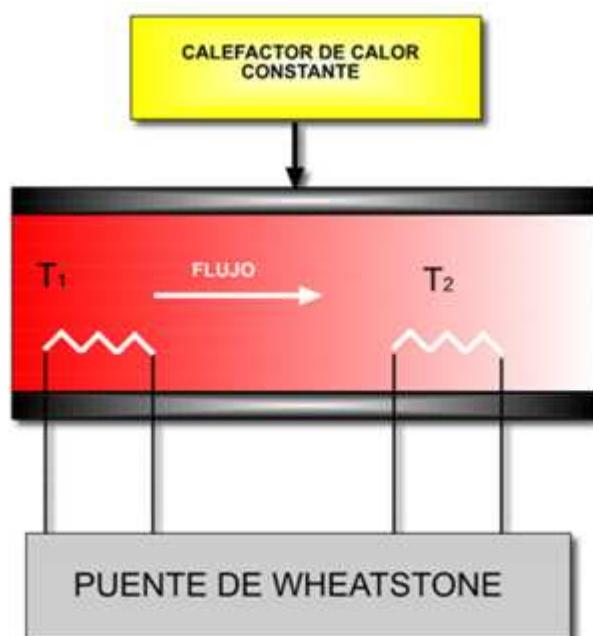


Figura 1. Medidor térmico

Si el fluido está en reposo, la temperatura es idéntica en las dos sondas. Sin embargo, cuando el fluido circula, transporta una cantidad de calor hacia el segundo elemento

T_2 , y se presenta una diferencia de temperaturas que va aumentando progresivamente entre las dos sondas a medida que aumenta el caudal.

Esta diferencia es proporcional a la masa que circula a través del tubo:

$$Q = m \cdot c_e(t_2 - t_1)$$

Q = Calor transferido.

M = Masa del fluido.

c_e = Calor específico.

t_1 = Temperatura anterior.

t_2 = Temperatura posterior.

El puente de Wheatstone determina la diferencia de temperaturas y la amplifica con una señal de salida de 0-5V c.c. en $1\text{K}\Omega$ que puede ser utilizada en registradores digitales y controladores.

La precisión de este medidor es de $\pm 1\%$ de toda la escala, la repetibilidad de $\pm 0,2\%$ de la escala y la constante de tiempo de 0,5 a 3 s.

Como la potencia calorífica precisada en este tipo de diseño crece sustancialmente con el diámetro del tubo, el uso de estos sensores está limitado a tubos de pequeñas dimensiones. Por ello, para aumentar el caudal medible se deriva con un capilar el fluido y se intercala un laminador que garantiza el mismo flujo laminar que en el capilar. Conociendo la relación de secciones entre el laminador y el capilar, midiendo el caudal en el sensor se obtiene la medida de caudal total. De este modo, los caudales medibles llegan a 15l/min en gases y a 20 Kg/h en líquidos.

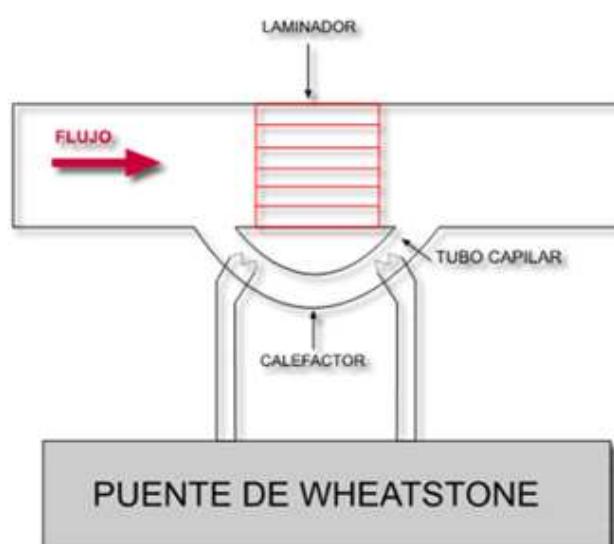


Figura 2. Medidor térmico con tubo capilar y laminador.

Otra manera mediante la cual puede limitarse la potencia calorífica cedida consiste en injectar el calor únicamente en la capa límite del fluido, adyacente a la pared del tubo. En estos medidores de flujo de capa límite los sensores de temperatura están instalados en una muesca en la pared interior del tubo, aunque aislado del fluido o colado alrededor del tubo.

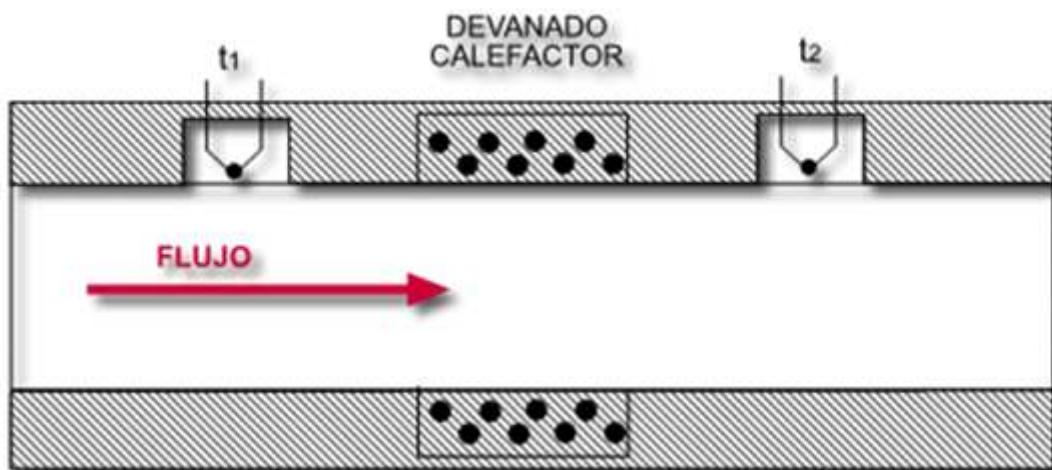


Figura 3. Medidor de flujo de capa límite.

La cantidad de calor cedido varía con la velocidad de la masa del flujo y la temperatura diferencial, de manera que la relación es más compleja que en el medidor de flujo Thomas.

Otra alternativa es el medidor de caudal **por conducto calentado** en el que el calor es conducido a lo largo de un circuito con sumideros de calor en los extremos. Se utiliza un termopar diferencial para la medida de la distribución de temperatura entre dos puntos del conducto. A medida que la velocidad del flujo aumenta, el sensor detecta un aumento de temperatura entre dos puntos del conducto. A medida que la velocidad del flujo aumenta, la unión sensora TC-2 detecta un aumento de temperatura, mientras que la unión sensora TC-1 detecta una disminución de la temperatura. La fem termoeléctrica generada por el termopar diferencial es proporcional a la velocidad de masa del fluido, para un gas de capacidad calorífica conocida. Diseños más sofisticados utilizan termómetros resistivos en vez de termopares diferenciales y pueden incorporar acondicionadores de señal y técnica de visualización, incluyendo una salida discreta.

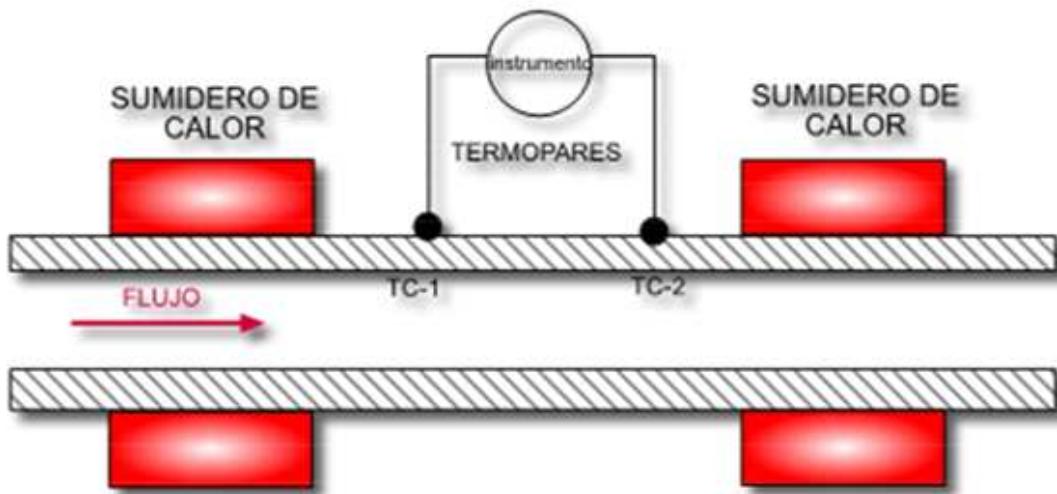


Figura 4. Medidor de flujo por conducto calentado.

El **anemómetro de hilo caliente** es un caso particular de medidor de flujo térmico. Se utilizan principalmente para medir la velocidad del viento o el flujo de otros gases; sin embargo, algunos diseños son también utilizables en fluidos líquidos. Los elementos sensores resistivos consisten en hilos metálicos delgados o películas depositadas soportadas por conexiones eléctricas, de manera que la conducción calorífica de los elementos de soporte sean mínimas. El sensor se conecta a un circuito en puente de Wheatstone en el que la excitación proporciona el autocalentamiento adecuado. Cuando se sumerge en el fluido a medir, el elemento pierde calor, por convección, cedido al fluido. Esta pérdida de calor convectivo varía aproximadamente con la raíz cuadrada de la velocidad del fluido.

Existen dos modos de operación:

El circuito puente de un anemómetro de corriente constante, que obtiene la excitación a partir de una fuente de corriente constante. La corriente se ajusta de manera que el sensor se calienta a una temperatura óptima para la aplicación. Un aumento del caudal del fluido ocasiona una disminución de la temperatura del sensor, la resistencia cambia de valor y ocasiona un desequilibrio en el puente ocasionando una tensión diferencial a la salida.

El anemómetro de temperatura constante consta de un sensor de temperatura no calentado actuando de compensación del sensor calentado. A medida que el sensor se enfria a causa de un aumento de la velocidad del fluido, su resistencia desequilibra el puente obteniéndose una salida de tensión diferencial. Dicha salida se aplica a una unidad de control que contiene una etapa amplificadora de elevada ganancia y cuya salida es la excitación del puente. Un desequilibrio del puente hace que la unidad de

control compense el error de temperatura, obteniéndose cambios en la excitación del puente y en la señal de salida.

Dado que la relación entre la señal de salida y la velocidad de flujo no es una relación lineal, algunos anemómetros incorporan linealizadores.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Tamaño compacto.
- Menor coste que otros medidores másicos.
- No hay obstrucciones al paso de caudal por ser el tubo de medida recto y paredes internas lisas.

INCONVENIENTES

- Coste relativo alto
- Es recomendable la calibración del instrumento en condiciones lo más cercanas posible a su utilización final.
- El medidor Thomas sólo es apropiado para la medida de pequeños caudales debido a la potencia calorífica cedida.

APLICACIONES

La medida es apta para bajos caudales de gas que van según los modelos de 0-10 cm³/minuto.

El instrumento es adecuado para gases tales como aire, nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, helio, amoníaco, argón, monóxido de carbono, anhídrico carbónico, ácido clorhídrico, etano, etileno, metano, fosfórico y otros.

También puede emplearse en líquidos pero con caudales muy bajos.

8.3.3.2.3 CAUDALÍMETROS DE IMPACTO

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Dentro de los medidores de caudal másico se encuentran los medidores de caudal de sólidos, entre los cuales el más utilizado en la industria es el medidor de caudal de sólido por impacto.

El principio de funcionamiento es muy sencillo, debido a que, el material sólido entre en el medidor de caudal por una placa de guía del caudal y pega en la placa sensora, generando una fuerza mecánica y continua sin interrumpir el proceso o la producción. La fuerza horizontal es convertida en una señal eléctrica, controlada por una unidad electrónica utilizada con el medidor de caudal para la visualización del caudal instantáneo y de la cantidad de material totalizado. La medición solo se basa en la fuerza horizontal de la fuerza de impacto.

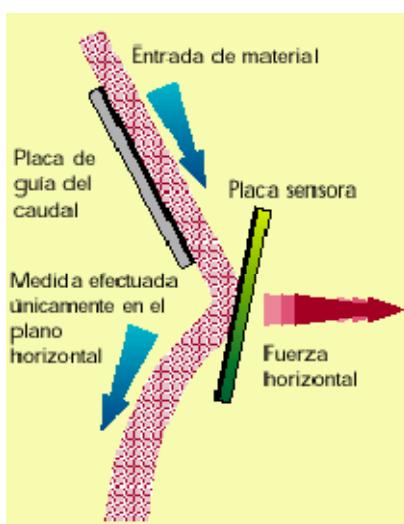


Figura 1.

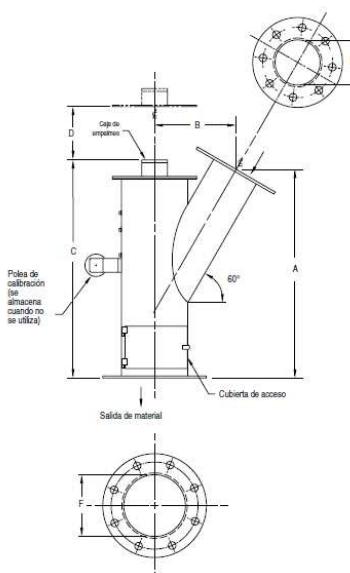


Figura 2.

Figura 1. Medidor de sólidos por placa de impacto. Imagen tomada de http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/trabajos%202003/Sem%20Aut%20%20Caudal/web-final/Inicio_archivos/caudal-final.PDF

Figura 2. Esquema del medidor. Imagen tomada de <http://www.dastecsrl.com.ar/docs/folletos/MILLFLO.pdf>

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Coste relativo bajo
- Diseño compacto y resistente apropiado para espacios reducidos.
- Aplicación versátil.
- Alta fiabilidad.

INCONVENIENTES

- Soporta temperaturas de operación sólo hasta 65º.

APLICACIONES

Los medidores de caudal de sólidos permiten pesar cualquier material seco a granel o granulado. De diámetro hasta 25 mm, en un rango de 200Kg/h a 2000t/h. La medición puede efectuarse en productos con densidades y caudales muy diferentes: trigo soplado, mineral de hierro, polvos fluidificados como la ceniza volante, productos pegajosos con posibilidad de depósito, como las virutas de torno.

Pueden utilizarse en aplicaciones con productos tan diversos como cemento, arena, carbón coque, carbón, cal, trigo, arroz, harina, azúcar, productos alimenticios para animales, astillas de madera y virutas de plástico.



Figura 3. Modelo de sólido por placa de impacto.Imagen tomada de
<http://www.siemens.com/>

8.3.3.2.4 CAUDALÍMETROS DE EFECTO CORIOLIS

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El medidor de **Coriolis** se basa en el teorema de Coriolis, según el cual establece que un objeto de masa m que se desplaza con una velocidad lineal V a través de una superficie giratoria con velocidad angular constante w , experimenta una velocidad lineal tangencial tanto mayor cuanto mayor es la distancia al centro. Si el móvil se desplaza del centro hacia la periferia, dado que el radio va aumentando gradualmente, la velocidad tangencial aumenta experimentando una aceleración debido a la fuerza que actúa sobre el móvil. La generación de la fuerza de Coriolis puede producirse mediante dos métodos: por inversión de las velocidades lineales del fluido o por inversión de las velocidades angulares del fluido.

En el primer caso, la inversión de las velocidades lineales del fluido es producido mediante la desviación del mismo a través de un bucle en forma de U que vibra a una frecuencia controlada. La vibración del tubo se produce perpendicular al sentido de

desplazamiento del fluido creando una aceleración en la tubería de entrada del fluido y una fuerza de deceleración en la de salida, creando a su vez un par cuyo sentido va variando de acuerdo con la vibración y con el ángulo de torsión del tubo. Este par es directamente proporcional a la masa instantánea del fluido circulante:

$$F = 2 \cdot m \cdot w \cdot V$$

F = Fuerza de Coriolis.

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

w = velocidad angular alrededor del eje del tubo en U .

(F, w, V vectoriales)

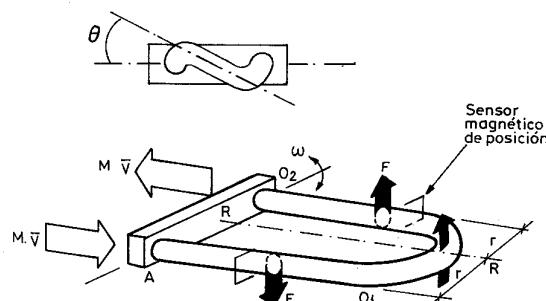


Figura 1. Caudalímetro por efecto Coriolis en forma de U. Antonio Creus Solé (1997). "Instrumentación Industrial". MARCOMBO

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

$$M=2 \cdot F \cdot r = 4 \cdot m \cdot V \cdot w \cdot r = 4 \cdot w \cdot r \cdot Q$$

$$T=K_s \cdot \theta$$

K_s = Constante de elasticidad del tubo.

θ = Ángulo de torión del tubo.

Dado que $M=T$, el caudal másico resulta:

$$Q = \frac{K_s \cdot \theta}{4 w r}$$

Sensores magnéticos de posición están situados en el centro del tubo y combinan el intervalo de tiempo en el que el movimiento del tubo es hacia abajo y el intervalo en el

que el movimiento del tubo es hacia arriba. La diferencia de 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 de tiempo de las señales de los sensores de posición está relacionada con θ y con la velocidad del tubo en su punto medio:

$$\tan \theta = \frac{V_i}{2 \cdot r} \cdot \Delta t$$

Δt = Diferencia temporal de las señales de los sensores de posición.

V_i = Velocidad del tubo en su punto medio.

Dado que $\theta = \frac{L \cdot w}{2 \cdot r} \cdot \Delta t$, resulta $Q = \frac{K_{s,L}}{8 \cdot r^2} \cdot \Delta t$

En el segundo caso, la inversión de velocidades angulares del fluido se realiza mediante un tubo recto. La velocidad lineal del fluido en los puntos A y B es la misma, pero la vibración a que se somete el tubo es tal que la velocidad angular en A es contraria al sentido horario mientras que en B es en el mismo sentido. Esta diferencia de fase es la que miden los sensores es proporcional al caudal másico.

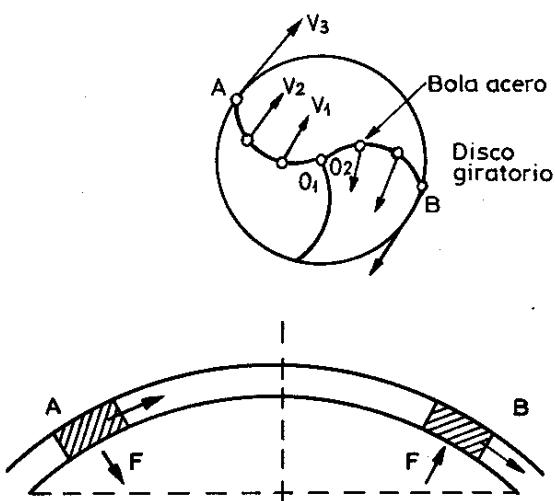


Figura 2.Caudalímetro por efecto Coriolis, tubo recto. Antonio Creus Solé (1997). “Instrumentación Industrial”. MARCOMBO

La precisión de este medidor es del orden del $\pm 0,3\%$.

Existen además modelos en forma de S, Z y hélice.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- La medida es independiente de la temperatura, presión y densidad del fluido.
- El tubo está libre de obstrucciones, admite sólidos en suspensión.
- Baja pérdida de carga.
- Capaz de medir caudal másico en ambas direcciones.
- La fuerte frecuencia de oscilación del tubo asegura que la medición no se vea alterada por oscilaciones de la tubería.
- No se deben tomar precauciones especiales en la instalación del equipo siempre y cuando no sea instalado en zonas de curva de la tubería.

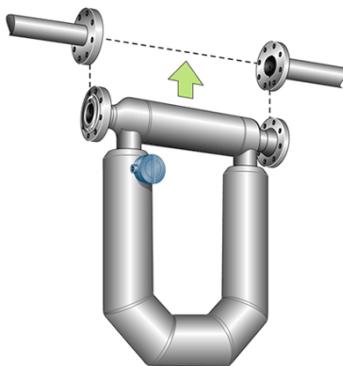


Figura 3. Instalación caudalímetro por efecto Coriolis. Imagen tomada de http://www.emersonprocess.com/Micromotion/tutor/old_tutor/spanish/images/CMF3_00.gif

INCONVENIENTES

- Coste relativo alto.
- El material del tubo debe soportar la fatiga mecánica debida a la vibración a su frecuencia natural, a la corrosión y erosión del fluido.
- Mayor tamaño que otros medidores másicos.
- Se debe evitar la instalación en lugares cercanos a entradas de aire.

APLICACIONES

Los caudalímetros másicos según el principio de medición de Coriolis son adecuados para medir todo tipo de líquidos y gases. La medición se efectúa con independencia de las variaciones de las condiciones y de los parámetros del proceso, tales como temperatura, densidad, presión, viscosidad, conductividad y perfil de flujo.

Las principales aplicaciones del caudalímetro según el principio de medición de Coriolis se encuentran en todos los ámbitos industriales tales como:

- Industria química y farmacéutica: Detergentes, materias primas, productos farmacéuticos, ácidos, bases.
- Alimentos y bebidas: Productos lácteos, cerveza, vino, bebidas sin alcohol, zumos de fruta y pulpa de fruta, embotellado, dosificación de CO₂, líquidos CIP.
- Industria del automóvil: Comprobación de toberas y bombas de inyección de combustible, rellenado de sistemas de aire acondicionado, consumo del motor, robots de esmaltado.
- Aceite y gas: Llenado de botellas de gas, control de quemadores, distribuidores de gas natural a presión, separadores de prueba, gas licuado.
- Aguas y aguas residuales: Dosificación de productos químicos para el tratamiento de agua.



Figura 4. Modelos de caudalímetros por efecto Coriolis. Imagen tomada de <http://www.siemens.com/>

8.3.4 CAUDALÍMETROS PARA CANALES ABIERTOS

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS

En la medición de **canales abiertos** 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 formar un tramo recto como mínimo en una distancia de 10 veces la anchura.

La diferencia de alturas debe medirse aguas arriba de la curva de la bajada. Posee una precisión del 1-2 %.

El caudal es proporcional a la diferencia de alturas según la fórmula:

$$Q = K \cdot l \cdot H^n$$

K=Constante que depende del tipo de vertedero.

L= Ancho de la garganta del vertedero en metros.

H= Diferencia máxima de nivel del líquido.

N=Exponente que es función de la geometría del canal.

Los vertederos pueden diferenciarse según su geometría en la descarga en:

-Vertedero rectangular.

-Vertedero trapezoidal o de Cipolletti.

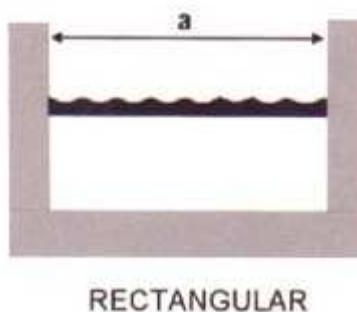
-Vertedero de Parshall

-Vertedero triangular.

También existen otras versiones de cada uno de estos tipos como son los de Khafagi, BSC (British Estándar Channel), el tipo H.

VERTEDERO RECTANGULAR

Es el más antiguo y usado principalmente por su simplicidad.



RECTANGULAR

Figura 1. Perfil vertedero rectangular. Imagen tomada de
http://www.bombasyaccesorios.com.ar/images/ares_imaq_esp_1.jpg

La fórmula por la cual se rige es:

$$Q = 1,84 \cdot (1 - 0,2H) \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

Se puede aplicar para caudales de hasta 2000 m³/h.

VERTEDERO TRAPEZOIDAL

El canal trapezoidal o de Cipolletti tiene la ranura en forma de trapecio invertido. La pendiente de los lados del trapecio corrige las contracciones laterales del manto de agua y el caudal es por lo tanto proporcional a la altura de la cresta.

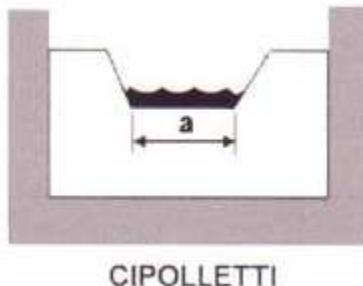


Figura 2. Perfil vertedero trapezoidal. Imagen tomada de http://www.bombasyaccesorios.com.ar/images/ares_imaq_esp_1.jpg

La fórmula por la que se rige es:

$$Q = 1,86 \cdot l \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

La longitud total del canal es hasta 10 veces el acho máximo del vertedero.

VERTEDERO DE PARSHALL

El vertedero de Parshall se aplica con líquidos con alto porcentaje de sólidos o cuando el espacio disponible no es suficiente para los otros tipos de canales.

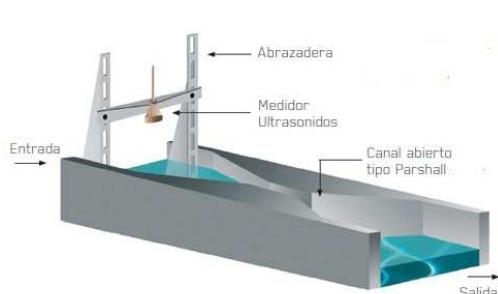


Figura 3.

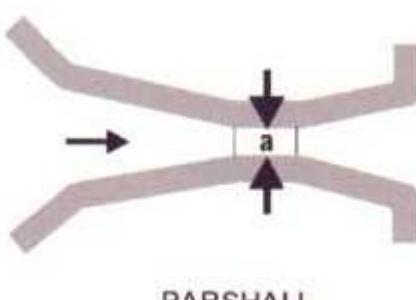


Figura 4.

Figura 3. Vertedero de Parshall. Imagen tomada de <http://www.garabito.net/page33.html>

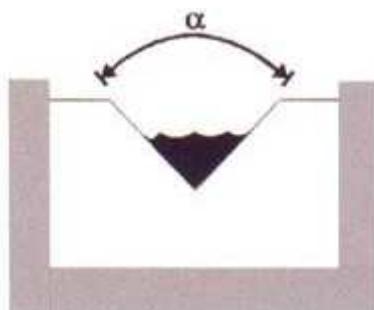
Figura 4. Perfil vertedero de Parshall. Imagen tomada de http://www.bombasyaccesorios.com.ar/images/ares_imaq_esp_1.jpg

La ecuación por la cual se rige es la genérica con el exponente, n , variable según la geometría:

K	L(metros)	n
2,32	0,076	1,547
2,5	0,152	1,58
2,34	0,228	1,53
2,26	0,305	1,522
2,31	0,457	1,54
2,34	0,609	1,55
2,39	0,914	1,566
2,42	1,219	1,578

VERTEDERO TRIANGULAR

El **vertedero triangular** o en V consiste en una placa triangular con el vértice dirigido hacia abajo y con cada lado con igual ángulo de inclinación (normalmente 45º).



TRIANGULAR

Figura 5. Perfil vertedero triangular. Imagen tomada de http://www.bombasyaccesorios.com.ar/images/ares_imaq_esp_1.jpg

Permite realizar mediciones en rangos más amplios de caudal. Puede llegar hasta 2500 m³/h.

Para un vertedero de 90º la ecuación por la cual se rige es:

$$Q = 1,33 \cdot H^{2,475}$$

Para la transducción a sistemas de registro o visualización remota se debe aplicar sistemas de sensado de nivel.

Estos pueden ser de los siguientes tipos:

Tipo flotador: El cuerpo flotante a su vez puede interconectarse con transductores inductivos o potenciómetros que transformen el desplazamiento en una señal eléctrica.

Tipo ultrasónico: Con un emisor y receptor de ondas ultrasónicas, midiendo el tiempo de vuelo de las ondas.

APLICACIONES

Los principales campos de aplicación de la medición de caudal en canales abiertos son:

- Plantas de tratamiento de agua
- Plantas de tratamiento de efluentes líquidos.
- Sistemas de irrigación de campos.
- Laboratorios de pruebas hidráulicas.

9. LISTADO DE CARPETAS



INFO

- Sensores
- Sensores
- Sensores
- sensores termicos4
- sensores termicos3
- sensores termicos2
- sensores termicos1
- sensores fotonicos5
- sensores fotonicos4
- sensores fotonicos3
- sensores fotonicos2
- sensores fotonicos1
- Principal
- No invasivos volumétricos
- Navegación Principal
- Menu tipos
- MÁSICOS
- Invasivos volumétricos
- Glosario de terminos
- Generalidadesluz
- Generalidades caudal
- Canales abiertos
- autorun

10. BIBLIOGRAFÍA

10.1 DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

"Process Instruments and Controls Handbook" Douglas M. Considine- Glenn D. Considine (McGraw-Hill Book Company)
"Sensores y analizadores" Harry N. Norton (Editorial Gustavo Gili,S.A)
"Instrumentación Industrial" Antonio Creus (Marcombo Boixareu Editores)
"Sensores acondicionadores de señal" Ramón Pallás Areny (Marcomobo)
"Transducers Theory & Applications" John A.Allocca (Reston Publishing Company)
"Mecánica de fluidos" Frank M.White (Mc Graw Hill)
"Mecánica de fluidos" Antonio Crespo Martinez (Thomson)
"Director Mx y Lingo" Phil Gros (Anaya)
"Guía de campo de Macromedia Director MX" Francisco Pascual González (Ra-ma)

10.2 PÁGINAS WEB CONSULTADAS

<http://www.siemens.com/entry/es/es/>
<http://www.robert-bosch-espana.es/content/language1/html/index.htm>
<http://www2.emersonprocess.com/ENUS/BRANDS/rosemount/Pages/index.aspx>
<http://www.odinsa.com.ar>
<http://www.hofferflow.com/>
<http://www.abb.es/>
<http://www.honeywell.com/sites/es/>
<http://www.kral.at/?L=2>
<http://www.sensirion.com/>
<http://www.schmidttechnology.de/es/index.htm>
<http://www.tecfluid.com/>
http://www.festo.com/cms/es_es/index.htm
<http://www.alldatasheet.com/>
<http://www.datasheetcatalog.com/>
<http://www.sapiens.itgo.com/documents/doc16.htm>
http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/Modulo_05/detectores/orificio/index.html
http://aguas.igme.es/igme/publica/libros2_TH/art2/pdf/teoria.pdf
http://www.buenastareas.com/search_results.php?action=search&query=sensores+de+caudal
<http://www.arpisa.com.mx/g.html>
<http://www.hunterriego.com/productos/difusores/spcltynzzintro.html>

<http://www.europages.es/guia-empresas/psrw/toberas.html>
<http://www.quiminet.com/pr3/toberas.htm>
<http://maxventuri0.tripod.com/teoria.html>
<http://www.monografias.com/trabajos11/presi/presi.shtml>
http://www.flowmeters-flowmeasurement.com/VenturiNozzleweldType_Es.html
<http://www.inti.gov.ar/hilo/h14/h14-4.php>
http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/Modulo_05/detectores/venturi/index.html
<http://www.scribd.com/doc/7192939/Teoria-de-Medicion-de-Caudal>
http://www.elster-instromet.com/en/diaphragm_meters.html
http://www.efunda.com/designstandards/sensors/flowmeters/flowmeter_pd.cfm
<http://medirvariables.blogspot.com/>
<http://www.instrumentacionycontrol.net/es/proyectos-y-trabajos.html>
<http://www.industryarea.es/Sensores-de-caudal-P1398-S1.html>
<http://www.aguamarket.com/>
<http://www.bombasyaccesorios.com.ar/>
<http://www.todocontrol.com/index1.html>
<http://www.garabito.net/>
<http://www.dastecsrl.com.ar/sitio/>
http://es.mt.com/es/es/home/products/ProcessAnalytics/DO_Flow_Sensor/Thornton_Flow_Family/Thornton_Flow_Sensors_1.html
<http://www.aqualityperu.com/medidores-sensores-caudal.html>
<http://www.aiqsa.com/productos/comercial/valvulas/auto/sensores/sensores.htm>
<http://www.hellopro.es>
<http://www.flowmeters.com/>
<http://www.flowmeterdirectory.com/>
<http://www.omega.com/prodinfo/flowmeters.html>
<http://www.flowmetermanufacturers.com/>
<http://macemeters.com/>
<http://biblioteca.universia.net/ficha.do?id=49447756>
http://www.engineeringtoolbox.com/fluid-flow-meters-t_49.html
<http://www.brooksinstrument.com/>
<http://www.foxthermalinstruments.com/>
<http://www.lakemonitors.com/>
<http://www.fluidcomponents.com/>

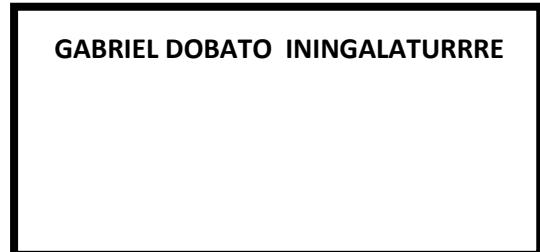
11. CONCLUSIONES, FECHA Y FIRMA

Con todo lo anteriormente expuesto, se espera que el presente proyecto contenga la suficiente información con la mayor claridad y extensión para permitir al usuario un perfecto aprendizaje del funcionamiento de los sensores de CAUDAL de una forma amena y sencilla.

Queda a disposición de la autoridad competente para cualquier duda, sugerencia o modificación a verificar.

Fecha

Firma



GABRIEL DOBATO ININGALATURRE

ANEXO:

CÓDIGO DE

PROGRAMACIÓN

DE DIRECTOR

Lingo es el lenguaje de programación que lleva incorporado Macromedia Director. Permite integrar con relativa facilidad texto, imágenes, sonidos y video digital, siendo una alternativa a lenguajes más tradicionales, como el C/C++, porque el desarrollo de la aplicación es mucho más rápido y flexible. El soporte para publicar suele ser el CD y desde hace algún tiempo, con la ayuda de Adobe Shockwave, también la WWW. Ahora mostraremos algunos de los códigos de programación utilizados para la realización del CD MULTIMEDIA.

COMANDO PARA DESPLAZARSE A LAS MARCAS DENTRO DE UNA PELÍCULA.

```
on mouseUp  
  go to frame "Principal"  
end
```

COMANDO PARA DESPLAZARSE A LA MARCA SIGUIENTE SIN IMPORTAR SU ETIQUETA.

```
on mouseUp  
  go to marker (1)  
end
```

COMANDO PARA DESPLAZARSE A LA MARCA ANTERIOR SIN IMPORTAR SU ETIQUETA.

```
on mouseUp  
  go to marker (-1)  
end
```

COMPANDO PARA DESPLAZARSE A LA MARCA QUE SE SITUA EN OTRO ARCHIVO.

```
on mouseUp  
  go to frame "4.1.a" of movie "Másicos.dir"  
end
```

SALIR DEL PROYECTOR.

```
on mouseUp  
  halt  
end
```

COMANDO PARA HACER UNA PAUSA EN LA PELÍCULA MANTENIENDO ACTIVADO TODO LO REFERENTE A ELLA, ESTO INCLUYE PRINCIPALMENTE LAS ACCIONES Y ESTADOS DE LOS BOTONES Y OTRAS AREAS INTERACTIVAS.

```
on mouseUp  
    go to the frame  
  
end
```

COMANDO PARA CAMBIAR DE COLOR LOS LOS DIFERENTES VÍNCULOS DE NAVEGACIÓN

```
on mouseUp  
    go to frame "Presión diferencial"  
end  
on mouseenter  
    member(74).color = rgb(28,242,41)  
end  
  
on mouseleave  
    member(74).color = rgb(255,255,255)  
end  
on mouseDown  
    member(74).color = rgb(255,255,255)  
end
```

COMANDO PARA QUE LA PRESENTACIÓN APAREZCA EN PANTALLA COMPLETA

```
on exitFrame me  
go the frame  
deskRect=(the desktopRectList)[1]  
(the stage).rect= deskRect  
(the stage).drawRect= deskRect  
end exitFrame
```

COMANDO PARA CREAR UN LINK A LA PÁGINA WEB DESEADA

```
on mouseUp  
    go to the Net "http://www. . . "  
  
end
```

COMANDO PARA CREAR LA BÚSQUEDA DEL GLOSARIO DE TÉRMINOS

```
on keyUP me
    if field "panel" = "absorbancia" then
        go to frame "1"

    end if
    if field "panel" = "abrasivo" then
        go to frame "1"

    end if
    if field "panel" = "aceptor" then
        go to frame "1"
    end if
    if field "panel" = "aguas arriba" then
        go to frame "2"
    end if
    if field "panel" = "aguas abajo" then
        go to frame "2"

    end if
    if field "panel" = "aleación" then
        go to frame "2"

    end if
    if field "panel" = "ámbito criogénico" then
        go to frame "2"

    end if
    if field "panel" = "amplificador operacional" then
        go to frame "3"

    end if
    if field "panel" = "analógico" then
        go to frame "4"

    end if
    if field "panel" = "ancho de banda" then
        go to frame "4"

    end if
    if field "panel" = "ánodo" then
        go to frame "4"

    end if
    if field "panel" = "astropartículas" then
        go to frame "4"

    end if
    if field "panel" = "atmósferas reductoras" then
```

```

go to frame "5"

end if
if field "panel" = "átomo" then
    go to frame "5"

end if
if field "panel" = "banda de conducción" then
    go to frame "6"

end if
if field "panel" = "banda de valencia" then
    go to frame "7"

end if
if field "panel" = "bioluminiscencia" then
    go to frame "7"

end if
if field "panel" = "calor residual" then
    go to frame "7"

end if
if field "panel" = "campo eléctrico" then
    go to frame "8"

end if

if field "panel" = "campo magnético" then
    go to frame "9"

end if

if field "panel" = "capacidad térmica" then
    go to frame "10"

end if
if field "panel" = "capacidad calorífica" then
    go to frame "10"

end if
if field "panel" = "capacitor" then
    go to frame "11"

end if
if field "panel" = "condensador" then
    go to frame "11"

end if
if field "panel" = "capa de carga espacial" then
    go to frame "12"

```

```

end if
if field "panel" = "caudal" then
    go to frame "12"

end if
if field "panel" = "caudalímetro" then
    go to frame "12"

end if
if field "panel" = "circuito integrado" then
    go to frame "12"

end if
if field "panel" = "cátodo" then
    go to frame "12"

end if
if field "panel" = "circuito contador" then
    go to frame "13"

end if
if field "panel" = "circuito eléctrico" then
    go to frame "13"

end if
if field "panel" = "circuito integrado" then
    go to frame "13"

end if
if field "panel" = "coeficiente de temperatura" then
    go to frame "14"

end if
if field "panel" = "colorimetría" then
    go to frame "15"

end if
if field "panel" = "combustible fósil" then
    go to frame "15"

end if
if field "panel" = "compensación de la unión fría" then
    go to frame "15"

end if
if field "panel" = "conductividad eléctrica" then
    go to frame "16"

end if
if field "panel" = "conductividad térmica" then

```

```

go to frame "16"

end if
if field "panel" = "constante de tiempo" then
    go to frame "16"

end if
if field "panel" = "convertidor" then
    go to frame "17"

end if
if field "panel" = "corriente de arrastre" then
    go to frame "17"

end if
if field "panel" = "corriente de difusión" then
    go to frame "17"

end if
if field "panel" = "corriente eléctrica" then
    go to frame "17"

end if
if field "panel" = "corriente oscura" then
    go to frame "18"

end if
if field "panel" = "corrosión" then
    go to frame "18"

end if
if field "panel" = "coste relativo" then
    go to frame "18"

end if
if field "panel" = "cristal" then
    go to frame "18"

end if
if field "panel" = "densidad" then
    go to frame "19"

end if
if field "panel" = "densidad de carga" then
    go to frame "19"

end if
if field "panel" = "diac" then
    go to frame "20"

end if

```

```

if field "panel" = "diafragma" then
    go to frame "20"

end if
if field "panel" = "difracción" then
    go to frame "21"

end if
if field "panel" = "difusor" then
    go to frame "21"

end if
if field "panel" = "dínodo" then
    go to frame "21"

end if
if field "panel" = "disipador" then
    go to frame "21"

end if
if field "panel" = "donador" then
    go to frame "21"

end if
if field "panel" = "dopado" then
    go to frame "21"

end if
if field "panel" = "efecto avalancha" then
    go to frame "22"

end if
if field "panel" = "efecto joule" then
    go to frame "22"

end if
if field "panel" = "efluente" then
    go to frame "22"

end if
if field "panel" = "electrodo" then
    go to frame "22"
end if
if field "panel" = "electrón" then
    go to frame "23"
end if
if field "panel" = "electronvoltio" then
    go to frame "23"
end if
if field "panel" = "energía cinética" then
    go to frame "23"

```

```

end if
if field "panel" = "equilibrio térmico" then
    go to frame "24"
end if
if field "panel" = "espectroscopia" then
    go to frame "24"
end if
if field "panel" = "exactitud" then
    go to frame "25"
end if
if field "panel" = "exactitud electrónica" then
    go to frame "25"
end if
if field "panel" = "exactitud de un sensor" then
    go to frame "25"
end if
if field "panel" = "extrínseco" then
    go to frame "25"
end if
if field "panel" = "flujo luminoso" then
    go to frame "26"
end if
if field "panel" = "flujo térmico" then
    go to frame "26"
end if
if field "panel" = "fluorescencia" then
    go to frame "27"
end if
if field "panel" = "fotoconductividad" then
    go to frame "27"
end if
if field "panel" = "fotocorriente" then
    go to frame "27"
end if
if field "panel" = "fotómetro" then
    go to frame "28"
end if
if field "panel" = "fotón" then
    go to frame "28"
end if
if field "panel" = "fuerza centrífuga" then
    go to frame "29"
end if
if field "panel" = "fuerza electromotriz" then
    go to frame "29"
end if
if field "panel" = "ganancia" then
    go to frame "30"
end if
if field "panel" = "generador tacométrico" then
    go to frame "31"

```

```

end if
if field "panel" = "grupo electrógeno" then
    go to frame "31"
end if
if field "panel" = "histéresis" then
    go to frame "32"
end if
if field "panel" = "hueco" then
    go to frame "34"
end if
if field "panel" = "intensidad luminosa" then
    go to frame "34"
end if
if field "panel" = "intrínseco" then
    go to frame "35"
end if
if field "panel" = "linearidad" then
    go to frame "36"
end if
if field "panel" = "longitud de onda" then
    go to frame "37"
end if
if field "panel" = "luz infrarroja" then
    go to frame "38"
end if
if field "panel" = "luz ultravioleta" then
    go to frame "39"
end if
if field "panel" = "malla de metalización" then
    go to frame "39"
end if
if field "panel" = "membrana" then
    go to frame "40"
end if
if field "panel" = "microprocesador" then
    go to frame "40"
end if
if field "panel" = "microscopio confocal" then
    go to frame "40"
end if
if field "panel" = "optoacoplador" then
    go to frame "40"
end if
if field "panel" = "pérdida de carga" then
    go to frame "41"
end if
if field "panel" = "peso específico" then
    go to frame "41"
end if
if field "panel" = "piezoelectricidad" then
    go to frame "41"

```

```

end if
if field "panel" = "polaridad" then
    go to frame "41"
end if
if field "panel" = "portador de carga" then
    go to frame "41"
end if
if field "panel" = "positrones" then
    go to frame "42"
end if
if field "panel" = "potencia calorífica" then
    go to frame "42"
end if
if field "panel" = "potencial eléctrico" then
    go to frame "42"
end if
if field "panel" = "potencia óptica" then
    go to frame "43"
end if
if field "panel" = "precisión" then
    go to frame "44"
end if
if field "panel" = "presión" then
    go to frame "44"
end if
if field "panel" = "presión absoluta" then
    go to frame "44"
end if
if field "panel" = "presión atmosférica" then
    go to frame "44"
end if
if field "panel" = "presión relativa" then
    go to frame "44"
end if
if field "panel" = "presión estática" then
    go to frame "44"
end if
if field "panel" = "presión diferencial" then
    go to frame "44"
end if
if field "panel" = "presión dinámica" then
    go to frame "45"
end if
if field "panel" = "puente de wheatstone" then
    go to frame "45"
end if
if field "panel" = "radiación" then
    go to frame "45"
end if
if field "panel" = "radioisótopo" then
    go to frame "45"

```

```

end if
if field "panel" = "radiómetro" then
    go to frame "46"
end if
if field "panel" = "rayos x" then
    go to frame "46"
end if
if field "panel" = "refrigeración" then
    go to frame "47"
end if
if field "panel" = "relé" then
    go to frame "47"
end if
if field "panel" = "repetitibilidad" then
    go to frame "47"
end if
if field "panel" = "reproducibilidad" then
    go to frame "47"
end if
if field "panel" = "resistividad" then
    go to frame "48"
end if
if field "panel" = "responsividad" then
    go to frame "48"
end if
if field "panel" = "rotor" then
    go to frame "48"
end if
if field "panel" = "ruido" then
    go to frame "48"
end if
if field "panel" = "semiconductor" then
    go to frame "49"
end if
if field "panel" = "sensibilidad" then
    go to frame "49"
end if
if field "panel" = "sensor" then
    go to frame "49"
end if
if field "panel" = "shunt" then
    go to frame "49"
end if
if field "panel" = "sonda" then
    go to frame "49"
end if
if field "panel" = "telémetro" then
    go to frame "50"
end if
if field "panel" = "temperatura" then
    go to frame "51"

```

```

end if
if field "panel" = "tolerancia" then
    go to frame "51"
end if
if field "panel" = "tomografía" then
    go to frame "51"
end if
if field "panel" = "transductor" then
    go to frame "52"
end if
if field "panel" = "transistor" then
    go to frame "52"
end if
if field "panel" = "transmisor" then
    go to frame "52"
end if
if field "panel" = "triac" then
    go to frame "52"
end if
if field "panel" = "turbidímetro" then
    go to frame "53"
end if
if field "panel" = "unión pn" then
    go to frame "53"
end if
if field "panel" = "velocidad angular" then
    go to frame "53"
end if
if field "panel" = "velocidad lineal" then
    go to frame "54"
end if
if field "panel" = "vena contracta" then
    go to frame "54"
end if

```

COMANDOS PARA CREAR HIPERVÍNCULOS ENTRE DIFERENTES TÉRMINOS

```

on hyperlinkClicked me, data
--put data
case data of
    "A": marca="1.1.1.a"
    "B": marca="1.1.2.a"
    "C": marca="1.1.3.a"
    "D": marca="1.1.4.a"
    "E": marca="1.1.5.a"
    "F": marca="1.1.6.a"
    "G": marca="Next1"
    "H": marca="1.2.1.1.a"

```

```

    "I": marca="1.2.1.2.a"
    "J": marca="1.2.1.3.a"
    "K": marca="Next20"
    "L": marca="Next6"
    "M": marca="Next5"
    "N": marca="1.2.1.4.a"
    "O": marca="1.2.1.5.a"
    "P": marca="1.2.1.6.a"
    "Q": marca="1.2.2.a"
    "R": marca="1.2.3.a"
    "S": marca="1.2.4.a"
    "T": marca="Next 10"
    "U": marca="1.3.1.a"
    "V": marca="1.3.3.a"
    "W": marca="1.4.a"
end case
go to frame marca
end hyperlinkClicked

```

```

on hyperlinkClicked me, data
--put data
case data of
    "A2": marca="2.1.a"
    "B2": marca="2..2.2.a"
end case

go to frame marca
end hyperlinkClicked

```

```

on hyperlinkClicked me, data
--put data
case data of
    "A3": marca="3.1.a"
    "B3": marca="Next1"
    "C3": marca="NExt2"
    "D3": marca="3.2.a"
    "E3": marca="3.3.a"
    "F3": marca="3.4.a"
end case

go to frame marca
end hyperlinkClicked

```

```
on hyperlinkClicked me, data
--put data
case data of
  "A4": marca="4.1.a"
  "B4": marca="Next1"
  "C4": marca="NExt2"
  "D4": marca="NExt3"
end case

go to frame marca
end hyperlinkClicked
```