

## MEDICIÓN MÁSCICA DE CAUDAL DE SÓLIDOS

### **1. Introducción**

La medición de caudal de productos sólidos ha constituido habitualmente una aplicación de difícil solución. A las propias características físicas del producto a vehicular, se añaden la no homogeneidad del medio así como las particularidades en el sistema de transporte. Si para los productos líquidos, se ha dispuesto desde hace décadas, de sistemas fiables para la medida de caudal volumétrico o incluso másico no ha sido la misma tendencia la que ha seguido la medición de sólidos, ya sean pellets, polvo, chips, etc.

### **2. Primeras soluciones**

Inicialmente, se confió a los sistemas estáticos de peso o nivel la tarea de transformar su señal primaria obtenida mediante los correspondientes transductores en una medición en continuo por carga o descarga. Resulta evidente que existen muchos elementos y factores involucrados en la medida, por lo que el riesgo de inestabilidad se hace presente y obliga de un diseño y estudio de la aplicación lo más exhaustivo posible.

Han sido habituales, y lo siguen siendo, las instalaciones donde el pesaje de una tolva, silo, plataforma o sistema de transporte han permitido suministrar una medida de caudal másico relativamente fiable. Mediante unos transductores o células de carga correctamente dimensionados y ubicados (Figura 1) y una unidad electrónica con mayor o menor sofisticación, según las necesidades, las instalaciones de sólidos han ido superando las necesidades de caudal que se le iban planteando.



(Figura 1)

### 3. Objetivo el caudal

Aún siendo la medición primaria de peso la solución que más habitualmente se ha utilizado para la medida de caudal de sólidos, los avances tecnológicos han desarrollado nuevas alternativas, algunas de las cuales, han permitido con su aparición, vislumbrar un futuro con verdaderos medidores de caudal. Sistemas como las placas de impacto (Figura 2) o los medidores basados en el principio de coriolis han resultado muy novedosos y especialmente atractivos para aquella industria que observaba como el mundo de los líquidos disfrutaba de soluciones tanto en dispositivos volumétricos (electromagnéticos, vortex, turbinas, deprimógenos, etc.) como en medidores másicos (coriolis, dispersión térmica, etc.); mientras que la obtención de una señal de caudal para un transporte neumático resultaba de difícil resolución.

Sin embargo, los principios mencionados anteriormente para la aplicación de sólidos, no dejan de ser un primer paso, donde la puesta en marcha del equipo, así como el mantenimiento preventivo son factores primordiales para asegurar una fiabilidad adecuada de la instalación.



(Figura 2)

### 4. El medidor másico

Con el fin de dotar a todas aquellas industrias que manejan sólidos, de un instrumento eficaz, fiable y de muy bajo mantenimiento, la firma alemana SWR, representada en nuestro país por la compañía Iberfluid Instruments, ha desarrollado una completa gama de equipos capaces de medir y detectar caudales tanto en transporte neumático como en caída libre y en rangos de hasta 350 tn/h de producto.

La utilización de estos sistemas se está generalizando tanto en Alemania como en el resto de Europa y los EE.UU. Industrias tan diversas como la alimentaria, cementera o

química han encontrado en estos instrumentos la posibilidad de medir y controlar caudal tanto en fase como densa como diluida.

Para aquellas aplicaciones donde está recomendado es fácil de instalar, calibrar y prácticamente libre de mantenimiento. Estos equipos no pretenden sustituir a otros elementos de medida en general, pero si complementarlos, y suponen una alternativa a los anteriormente citados. (Figura 3)

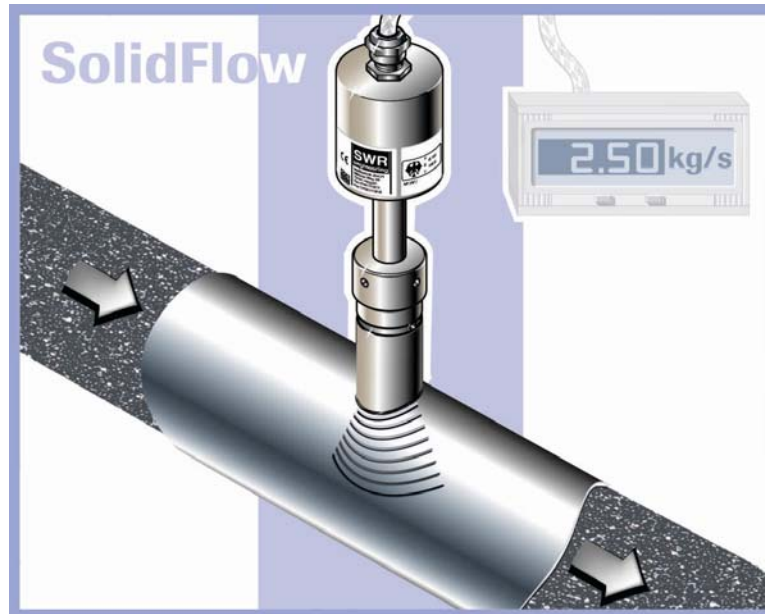


Figura (3)

## 5. Principio de medida para caudales fase diluida de hasta 20 tn/h.

### Instrumento

El sistema consiste en un elemento sensor y una unidad procesadora remota al equipo, capaz de gestionar la señal proveniente del sensor y facilitar una lectura de caudal y totalizado, así como una señal digital de salida.

El transductor es un tubo guíaondas metálico, con un cabezal que incorpora una fuente de 24 GHz de muy baja potencia (alrededor de 5 mW)

Para las instalaciones en transporte neumático, la sonda queda insertada en la tubería de una manera no invasiva, de tal forma que no provoca pérdidas de carga ni interfiere el paso del producto. El extremo queda totalmente enrasado con la pared interna de la tubería, formándose habitualmente una pequeña capa de producto que “protege” la sonda sin afectar a la medida. Las tuberías deben tener un diámetro mínimo de 20 mm.

La fuente de microondas ubicada en el cabezal, emite una señal a través del guíaondas directamente al interior de la tubería, creando un campo de medición homogéneo. El extremo de la sonda realiza simultáneamente las funciones de emisor y receptor, por lo que también recoge la señal reflejada.

El sistema evalúa dos variables diferentes de la señal emitida y recibida: amplitud y frecuencia. Basándose en el efecto Doppler, la unidad de control determina la velocidad de las partículas vehiculadas, calculando la diferencia entre la frecuencia de emisión y la de recepción.

En relación a la amplitud, si en el interior de la tubería circula únicamente aire, el sistema recibe la casi totalidad de la señal, mientras que si por el contrario se vehiculan partículas, la señal es dispersada, atenuada y absorbida, por lo que el sensor recibe multitud de pulsos de diferentes amplitudes. La evaluación de las variaciones de amplitud permite a la unidad electrónica asociada, calcular el volumen de las partículas transportadas (Figura 4).

Mediante las dos variables obtenidas, y conociendo el diámetro interno de la tubería, la unidad de control del equipo calcula un valor proporcional al caudal másico instantáneo. Para poder obtener el valor real de dicho caudal (en unidades de ingeniería), queda únicamente un paso a seguir: calibrar el equipo.

La condición de caudal cero, pasa por la no existencia de producto en la tubería, mientras se vehicula aire. La unidad electrónica, memoriza la señal recibida desde el sensor y la identifica como caudal cero en unidades de masa por tiempo (tn/h, kg/h,...). Para calibrar un valor de caudal determinado, se debe transportar una cantidad de producto conocida a través de la tubería. Si se desconoce el caudal instantáneo que se ha producido durante la calibración, la unidad de control permite asignar a la señal memorizada durante el proceso, el valor total obtenido mediante una báscula u otro sistema de pesaje. Para una calibración óptima del sistema, el equipo dispone de hasta 10 puntos de linealización para las posibles curvas de calibración del equipo. La unidad de control puede llegar a gestionar la señal de hasta 3 sensores (un máximo de 600 mm. de sección de tubería) y permite almacenar 4 calibración diferentes (seleccionables local y remotamente). El equipo puede incluir salidas de relé para alarmas, así como comunicación serie con protocolo MODBUS. Una pantalla táctil permite su total configuración.

La precisión que se puede obtener con estos sistemas está entre el +/-2% al +/-5 %, aunque para una gran cantidad de aplicaciones y con una adecuada calibración puede estar entre el +/-2% al +/-3 % (Figura 5).

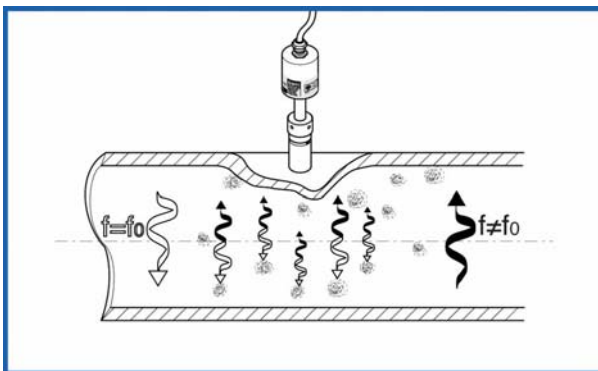


Figura (4)



Figura (5)

### **Aplicaciones.**

Para su instalación en transporte neumático, el instrumento incluye un pequeño adaptador el cual se debe soldar a la tubería y posteriormente taladrar para permitir que el equipo acceda al interior de la tubería. Una arandelas espaciadoras permitirán la fijación de la sonda y asegurarán que quede totalmente enrasada con la cara interior de la tubería. En estos casos el equipo precisa de entre 5 a 10 diámetros rectos de tubería antes de su ubicación o tras un elemento distorsionados de las líneas de flujo (ya sea codo, válvula, etc.). Las condiciones temperatura y presión no son excesivamente restrictivas. El equipo estándar puede trabajar a 1 Bar de presión y entre  $-20$  a  $80$  °C, aunque existen sensores especiales que pueden llegar a trabajar hasta 10 Bar de presión o hasta  $200$  °C de temperatura (otras bajo solicitud).

En el caso de aplicaciones en caída libre, el sensor puede ubicarse a la salida de cintas transportadoras, husillos, válvulas rotativas o bandejas vibrantes. Se requiere unos 300 mm de tramo recto antes de alcanzar el producto al sensor, para asegurar de esta manera un perfil de velocidades óptimo para la medición (Figuras 6, 7).

Para ambos casos (caída libre y transporte neumático) cuando la tubería o conducto excede de 200 mm con un máximo de 400 mm se requiere dos sensores de medida. Si por el contrario la sección a medir supera los 400 mm y alcanza los 600 mm, la cantidad de sensores a considerar serán de 3 unidades. En este caso la unidad de control se encargará de recoger las tres señales y tratarlas adecuadamente para confeccionar una señal de caudal única.

Los instrumentos incluyen certificación ATEX para el sensor, por lo que ese puede ser ubicado en área clasificada, mientras que la unidad electrónica debe permanecer en área segura. No es necesario la utilización de barreras o aisladores galvánicos de seguridad, sino que la propia unidad electrónica del equipo los incorpora.

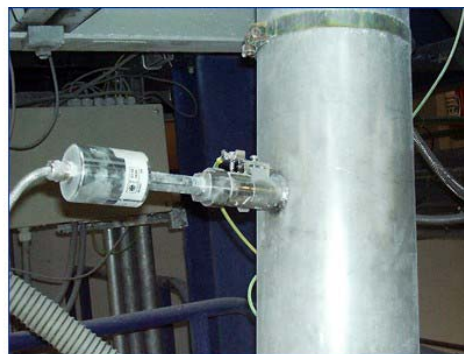


Figura (6)

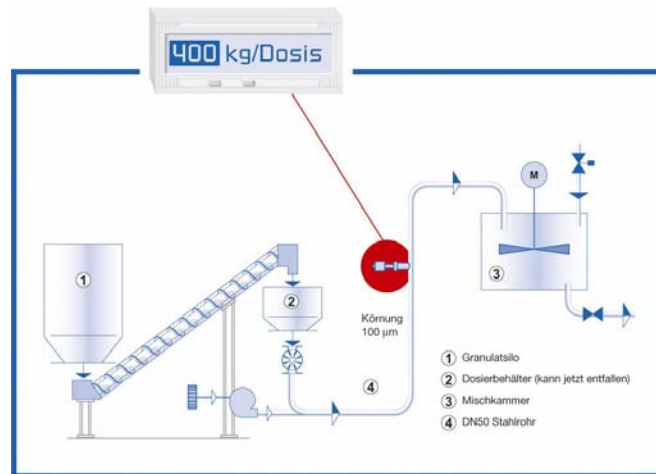


Figura (7)

## 6. Principio de medida para caudales fase diluida a partir de 20 tn/h.

### Instrumento

Hasta ahora, las aplicaciones solucionadas con medidores máscicos para sólidos por microondas, no podían superar el caudal límite de 20tn/h, por lo que muchas aplicaciones de transporte neumático de caudales elevados, descargas desde silos a camiones cisterna o cargas de tolvas, donde se pueden generar caudales de hasta 300 tn/h, estaban sin una solución dentro de esta línea de equipo.

De nuevo SWR, pionera en esta tecnología, ha desarrollado un instrumento capaz de realizar estas mediciones con una instalación extremadamente sencilla sin prácticamente requerimientos mecánicos de ningún tipo (Figura 8).



Figura (8)

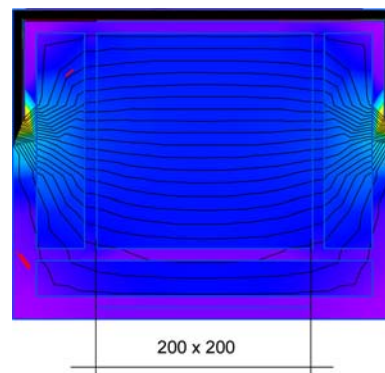


Figura (9)

Se trata de un sistema compuesto por un elemento sensor en línea y una unidad electrónica remota. El sensor no dispone de partes móviles susceptibles de desgaste mecánico, ni elementos invasivos que interfieran el paso de producto. Con esta disposición se evitan pérdidas de carga o impactos de partículas que generen cargas electroestáticas. Se trata de un conducto que precisa únicamente de 400 mm de tramo recto para poder ser instalado (inferior a medio metro!) y puede ser ubicado tras una

válvula rotativa, husillo o cinta transportadora. Igualmente puede trabajar en líneas de transporte neumático.

El instrumento está diseñado para obtener dos variables de una manera totalmente independiente: velocidad y densidad. Junto a éstas, y integrando el tamaño de la tubería, la unidad electrónica suministra directamente señal de caudal másico, así como la opción de totalizar masa de producto vehiculado. Dado que el instrumento obtiene los valores de densidad y velocidad mediante dos dispositivos diferentes, el equipo es capaz de entregar adicionalmente estos dos valores.

El instrumento genera un campo electromagnético homogéneo en el interior del tubo de medida (Figura 9). La absorción de energía producida por las partículas que son transportadas por el interior del sensor, permite a la unidad de control obtener una señal correspondiente a la concentración del mismo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Para la medición de velocidad, el instrumento incorpora dos dispositivos similares al utilizado para la medición de la densidad, pero de diámetro sensiblemente inferior. Estos anillos se encuentran a una distancia determinada y conocida por el fabricante. Una vez generado el campo electromagnético, y mediante ambos anillos, se observa la respuesta de cada uno de ellos creando dos gráficas, que a través de un sistema de correlación, permiten deducir el tiempo de desfase entre ambas gráficas (Figura 10). Disponiendo de ese tiempo y la distancia conocida entre anillos, la unidad de control obtiene la velocidad de las partículas que se desplazan por el interior del sensor. Si a la velocidad añadimos el valor de densidad y el tamaño de la tubería obtendremos el caudal de trabajo.

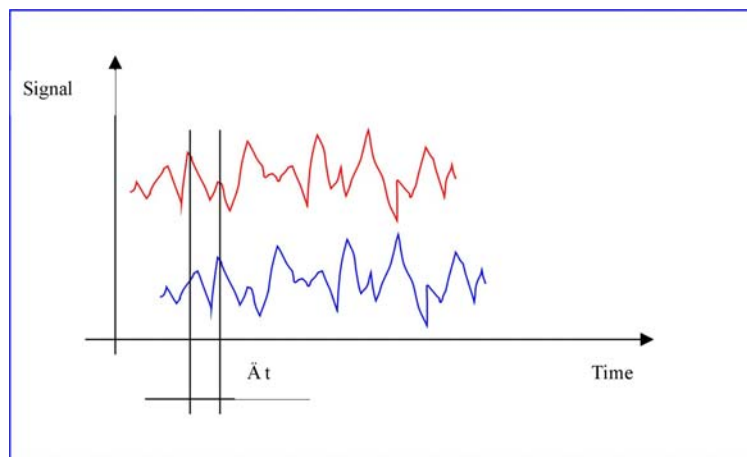


Figura (10)

### **Aplicaciones.**

Para su instalación, el equipo no tiene ningún requerimiento especial, salvo cuando se encuentre instalado bajo una válvula rotativa, ya que en este caso serán necesarios únicamente 200 mm de tramo recto. El instrumento puede incluir tanto bridas estándar DIN como soluciones con bridas cuadradas (Figura 11).

Estos equipos han encontrado uno de sus campos de aplicación en aquellas instalaciones ya existentes, donde la falta de espacio a la hora de ubicar un nuevo instrumento ha impedido mejorar o automatizar ciertos procesos. Ante la necesidad de alturas considerables para implementar equipos excesivamente elevados, el Maxxflow únicamente requiere 400 mm de altura para su instalación.

En aplicaciones en caída libre, es habitual encontrar cintas o husillos que descargan sobre una tolva o en transporte sobre otros husillos o cintas. Hasta la fecha, la posibilidad de controlar el caudal en estas instalaciones pasaba básicamente, por instalar sistemas de pesaje dinámico. Con las nuevas series Maxxflow, se abre una alternativa para aquellas instalaciones donde las modificaciones mecánicas sean inviables o de muy difícil ejecución. Un ejemplo clásico de instalación en caída libre con poco espacio para la instalación de un sistema de medición es la carga de camiones cisterna (Figura 12).

El control de stocks es otra de las aplicaciones habituales para el medidor másico de alto caudal. Muchas de las instalaciones disponen de sistemas de carga de cisterna automatizados, pero por el contrario el vaciado de las mismas no es, a veces, una tarea sencilla de realizar. El hecho de controlar “on line” la cantidad de producto suministrado a la cisterna, previo a un posible paso posterior por báscula, puede permitir agilizar las operativas de carga, asegurando que las cisternas son expedidas sin sobrepasar su límite máximo de carga, pero sin desaprovechar posibilidad de carga. Si hasta la fecha, la mayoría de estos controles se realizaban por tiempo, el Maxxflow permite asegurar las cargas y evitar los posibles retornos de cisternas para su vaciado.

En líneas de transporte neumático, todas aquellas instalaciones que requieran controlar caudal de hasta 300 o 350 tn/h de producto, tienen en el Maxxflow un instrumento ideal para totalizar el producto vehiculazo, o medir el caudal a través de la tubería para un posterior control del caudal de trabajo.

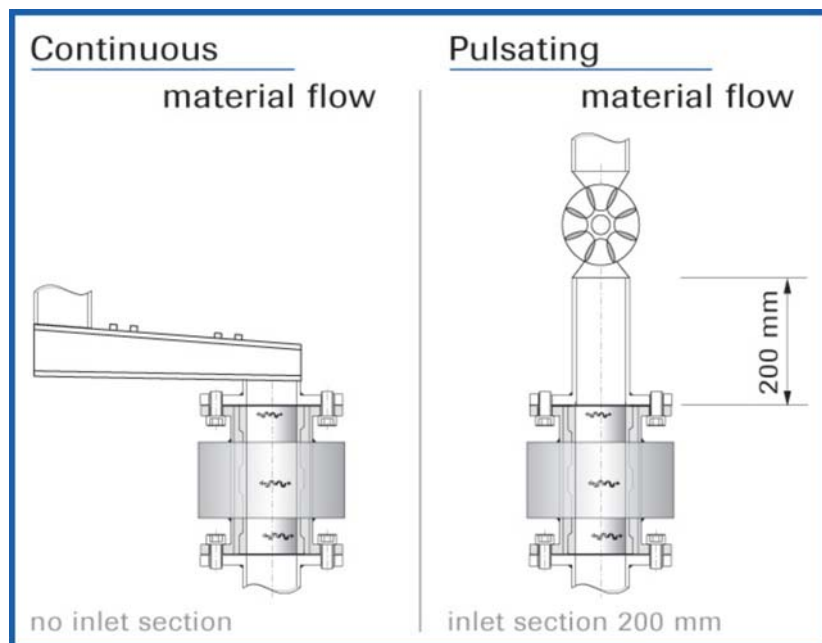


Figura (11)



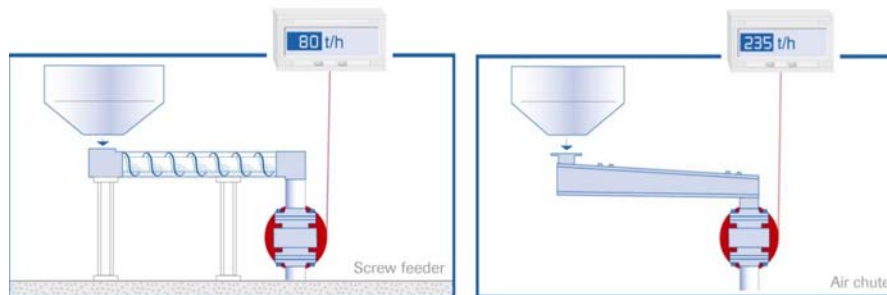


Figura (12)

### Calibración.

En este apartado, es donde el medidor másico pone de manifiesto otra de sus grandes ventajas. La calibración es un proceso que se realiza en un breve período de tiempo y es, además, de fácil ejecución. La medición de velocidad no requiere calibración alguna, por lo que el usuario debe realizar únicamente la calibración de la densidad del producto a vehicular. La operativa es sencilla, se dispone la unidad sobre una báscula, y se llena completamente de producto. Una vez realizado esto, se introduce la cantidad en peso indicada por la báscula en el equipo, y éste queda automáticamente calibrado. Si no se dispone de báscula o sistemas de pesaje que permitan esta operativa, es posible, mediante el transporte a través del equipo realizar dicha calibración. Una vez vehiculada una cantidad conocida a través del instrumento, se introduce mediante el teclado dicho valor, para que la unidad electrónica pueda asociar la señal obtenida desde la parte sensora con el valor introducido. Tras este paso, el equipo quedará de nuevo calibrado.

## 7. Principio de medida para caudales fase densa.

### Instrumento

Al igual que el Maxxflow es una excelente solución para la medida de caudal en fase diluida, SWR, pone al servicio de la industria química en general, la posibilidad de medir caudal en fase densa con el mismo principio de medida. El instrumento dispone de dos dispositivos para medición simultánea de densidad y velocidad. Por un lado, los dos anillos instalados en el sensor a una distancia conocida, permiten mediante la correlación de las señales generadas, la obtención de tiempo de tránsito. Si implementamos este valor de tiempo con la citada distancia entre anillos, obtendremos el valor de velocidad.

Por otro lado, la medida de densidad, se obtiene, mediante la creación de un campo electromagnético en el interior del equipo. Las partículas vehiculadas en su interior absorben parte de ese campo, permitiendo a la unidad de control obtener la concentración del producto.

Dado que el sistema realiza ambas mediciones independientemente, el equipo suministra, además de la medida de caudal y el totalizado de producto, los valores de velocidad y densidad mediante sendas señales analógicas de salida (Figura 13).

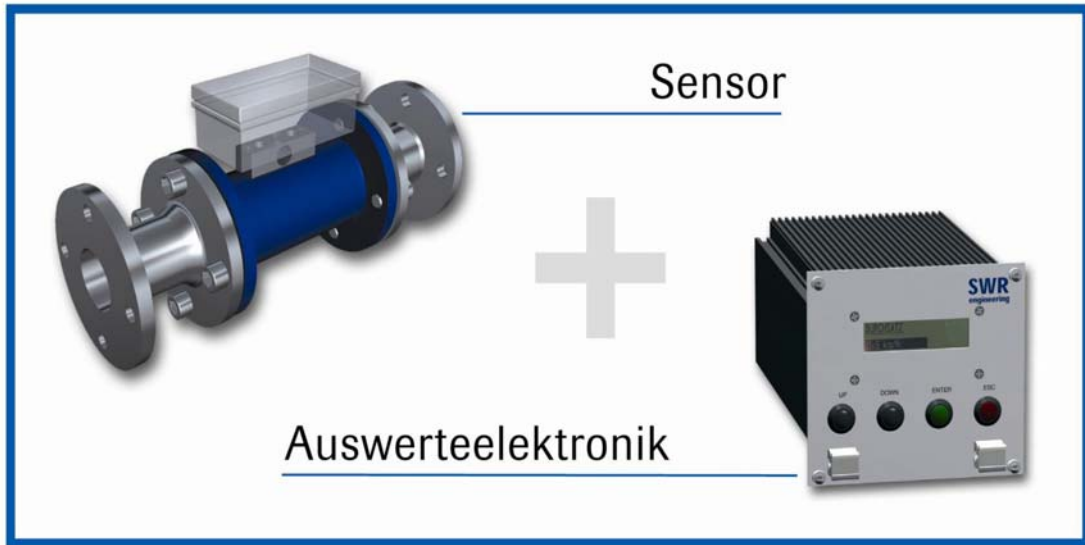


Figura (13)

**Aplicaciones.**

El Densflow es un instrumento especialmente diseñado para el transporte de producto en paquetes. Con tamaños de hasta DN200, pueden trabajar en líneas de hasta 10 Bar (opcionalmente hasta 20 Bar) y temperaturas de hasta 130 °C (opcionalmente hasta 300 °C).