

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SUPERVISORIO DE FLUJO Y  
NIVEL POR PC PARA LA INDUSTRIA LICORERA DEL CAUCA**

**DIEGO ALBERTO BRAVO MONTENEGRO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
POPAYÁN  
2003**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SUPERVISORIO DE FLUJO Y  
NIVEL POR PC PARA LA INDUSTRIA LICORERA DEL CAUCA**

**DIEGO ALBERTO BRAVO MONTENEGRO**

Informe Final de Pasantía para optar al título de  
**Ingeniero Físico.**

**Director**

**Msc. †HERMES SANDOVAL (Q.D.E.P)**

JEFE DEL GRUPO I+D EN INGENIERÍA FÍSICA  
UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
POPAYÁN

**Director (E)**

**Ing. JUAN FERNANDO FLOREZ MARULANDA**

DOCENTE DE INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL  
UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
POPAYÁN

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN**  
**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**  
**POPAYÁN**  
**2003**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Popayán, 2 de Diciembre de 2003

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. TITULO DE LA PASANTÍA	17
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	18
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. OBJETIVOS	20
4.1 OBJETIVO GENERAL	20
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
5. MARCO REFERENCIAL	21
6. MARCO TEÓRICO	22
6.1 FUNDAMENTOS DEL FLUJO DE FLUIDOS	22
6.1.1 FLUJO MÁSSICO	22
6.1.2 FLUJO VOLUMÉTRICO	23
6.2 TEORIA DEL FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS	24
6.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS FLUIDOS	25
6.4 REGÍMENES DE FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERIAS: LAMINAR Y TURBULENTO	27
6.5 MEDICIÓN DE CAUDAL	29
6.5.1 MEDIDORES VOLUMÉTRICOS	29
6.5.2 MEDIDORES DE CAUDAL MASA	51

6.6 MEDICIÓN DE NIVEL	53
6.6.1 MEDIDORES DE NIVEL DE LÍQUIDOS	54
6.6.2 MEDIDORES DE NIVEL DE SÓLIDOS	70
6.7 SISTEMA SCADA / HMI	72
7. METODOLOGÍA	76
8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	78
9. RESEÑA HISTÓRICA DE LA INDUSTRIA LICORERA DEL CAUCA	80
10. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ZONA DE PREPARACIÓN DE AGUARDIENTE DE LA INDUSTRIA LICORERA DEL CAUCA	84
11. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE AGUARDIENTE	87
11.1 DEFINICIONES	87
11.2 PROCEDIMIENTO	88
11.3 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	89
12. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA MEDICIÓN DE FLUJO DE ALCOHOL	92
13 PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA MEDICIÓN DE NIVEL DE AGUARDIENTE	94
13.1 DEFINICIONES	94
14. ANÁLISIS DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE AGUARDIENTE	96
15. NECESIDAD DE LA INDUSTRIA LICORERA DEL CAUCA PARA MEJORAR SUS PROCESOS	98
16. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA IMPLEMENTAR EL SISTEMA SUPERVISORIO DE FLUJO Y NIVEL POR PC	100

17. IMPLEMENTACIÓN DE LOS TRANSMISORES DE FLUJO Y NIVEL	102
17.1 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL TRANSMISOR LD 301	103
17.1.1 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL SENSOR	103
17.1.2 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO	105
17.2 PROGRAMACIÓN Y AJUSTE DEL TRANSMISOR	108
17.3 INSTALACIÓN	109
17.3.1 MONTAJE DEL TRANSMISOR LD 301 PARA MEDIDA DE FLUJO DE ALCOHOL	111
17.3.2 MONTAJE DEL TRANSMISOR LD 301 PARA MEDIDA DE NIVEL DE AGUARDIENTE	112
18. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SUPERVISORIO EN EL PC	114
18.1 CARACTERÍSTICAS DE LA APLICACIÓN	114
18.1.1 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS 6024E DE NI	115
18.1.2 DRIVER DE COMUNICACIÓN ENTRE LA TARJETA 6024E E IFIX VERSIÓN 3.5 DE GE FANUC INTELLUTION	117
18.2 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN	117
18.3 ARQUITECTURA IMPLEMENTADA	118
19. CONCLUSIONES	121
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	124
<b>ANEXOS</b>	126
Artículo Publicado para el Quinto Congreso Nacional de Automática: Estudio de un Proyecto de Instrumentación para la Industria Licorera del Cauca	125

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cronograma de Actividades.	78
Tabla 2. Características del Aguardiente.	91
Tabla 3. Características del alcohol.	91
Tabla 4. Parámetros utilizados para la medición de Flujo de Alcohol.	93
Tabla 5. Parámetros que influyen en la Medida de Nivel De Aguardiente.	95
Tabla 6. Señales a supervisar.	100
Tabla 7. Partes del Transmisor LD 301.	106

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Perfil de Velocidad de Flujo.	24
Figura 2. Vena contracta.	30
Figura 3. Placa Orificio.	31
Figura 4. Tipos de Placa-orificio.	31
Figura 5. Tobera.	32
Figura 6. Tubo Venturi.	32
Figura 7. Tubo Pitot.	33
Figura 8. Tubo Annubar.	34
Figura 9. Rotámetro.	35
Figura 10. Vertederos.	39
Figura 11. Medidor Ultrasónico.	41
Figura 12. Caudalímetro magnético	44
Figura 13. Caudalímetro Cicloidal.	49
Figura 14. Caudalímetro Oval.	49
Figura 15. Medidor de Sonda.	56
Figura 16. Medidor de Cristal.	57
Figura 17. Medidor de Flotador.	58
Figura 18. Medidor de Presión Diferencial.	61
Figura 19. Medidor de Nivel tipo Desplazamiento.	63



Figura 20. Medidor de Nivel Conductivo.	65
Figura 21. Medidor de Nivel Capacitivo.	66
Figura 22. Medidor de Nivel Ultrasónico.	67
Figura 23. Medidor de Nivel Radiactivo.	69
Figura 24. Tanque de Preparación.	85
Figura 25. Cuadro de Controles.	86
Figura 26. Fotografía del Producto en sus tres presentaciones.	90
Figura 27. Transmisor LD 301.	102
Figura 28. Célula Capacitiva.	103
Figura 29. Diagrama en bloques del circuito del LD 301.	106
Figura 30. Partes del Transmisor LD 301.	107
Figura 31. Ajuste local del Cero y Span con el Desatornillador Magnético.	108
Figura 32. Diseño de Montaje del Transmisor LD 301.	109
Figura 33. Diagrama general de cableado para el Transmisor LD 301.	110
Figura 34. Diagrama de Instalación del Transmisor de Flujo de Alcohol.	112
Figura 34. Diagrama de Instalación del Transmisor de Nivel de Aguardiente.	113
Figura 36. Tarjeta de Adquisición de Datos 6024E.	116
Figura 37. Sistema Supervisorio de Flujo y Nivel por PC en iFIX.	118
Figura 38. Configuración Stand-Alone.	119

## **GLOSARIO**

**ADC:** Acrónimo de Analog Digital Converter (Convertidor de análogo a digital o simplemente convertidor análogo - digital).

**AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL:** Aplicación de tecnologías tele-informáticas a las actividades de control de producción, minimizando la intervención humana. Sistemas que sean capaces de cerrar un lazo con la mínima intervención del operador. Implica medir el proceso, determinar su estado, tomar una decisión basándose en un objetivo pautado y actuar sobre el proceso para llevarlo a su objetivo.

**CONTROL POR COMPUTADOR (PC Control):** Estrategia de control configurada a partir de software, la cual usa software y hardware para un computador personal estándar.

**DISPOSITIVOS DE CAMPO INTELIGENTES:** Dispositivos basados en microprocesadores capaces de entregar múltiples variables de un proceso, información del desempeño de un dispositivo, resultados y diagnósticos y la ejecución de funciones de control asignadas.

**DRIVER:** Software imprescindible para que cualquier componente externo sea reconocido por la computadora tras su instalación.

**E/S:** Acrónimo de “Entrada/Salida”. Suele aplicarse al flujo de datos. También es conocido por su acrónimo inglés “I/O”.

**INTERFAZ:** Conexión mecánica o eléctrica que permite el intercambio de información entre los dispositivos o sistemas. Habitualmente se refiere al software y hardware necesarios para unir dos elementos de proceso en un sistema o bien para describir los estándares recomendados para realizar dichas interconexiones. También se conoce por su denominación inglesa “interface”.

**INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA:** Método para mostrar el estado de una máquina, alarmas, mensajes y diagnósticos, usualmente en forma gráfica en un computador personal, permitiendo una realimentación al computador.

**ISO:** Acrónimo de International Standards Organization (Organización Internacional de Estándares). Organismo con sede en Ginebra, cuya función consiste en coordinar los trabajos de normalización (estandarización) realizados por los diferentes organismos internacionales.

**OLE:** Object Linking and Embedding. Conjunto de servicios basados en técnicas de orientación a objetos definidas por Microsoft para la comunicación e integración entre aplicaciones.

**OPC:** OLE for Process Control, que trata los datos como colecciones de objetos para ser compartidos por aplicaciones que soportan las especificaciones OLE. OPC provee extensiones a OLE para soportar el intercambio de datos en el control de procesos.

**PERIFÉRICO:** Dispositivo interno o externo que se conecta al computador.

**PROCESO:** Operación o desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que suceden uno al otro en una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados. Operación artificial o voluntaria progresiva que consiste en una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinados.

**PROGRAMA:** Secuencia de instrucciones que obliga al ordenador a realizar una tarea determinada. Serie de instrucciones que sigue el ordenador para llevar a cabo una tarea determinada.

**SCADA:** Control supervisorio y adquisición de datos (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Un tipo de sistemas que utiliza una computadora convencional en una aplicación de control de procesos y donde un PLC desarrolla las funciones de control pero que son monitoreadas y supervisadas por una computadora. Área de aplicación: líneas de producción, energía eléctrica, petróleo y tanques de almacenamiento, tanques de abastecimiento de agua.

**SENSOR:** Dispositivo que convierte un parámetro físico (como temperatura, presión, flujo, velocidad, posición) en una señal eléctrica. En algunos casos se le considera sinónimo de transductor, pero un verdadero sensor contiene un sistema de acondicionamiento de la señal, de manera que es mucho más sencillo realizar una medición.

**SEÑAL ANALÓGICA:** Señal continua cuya amplitud puede adoptar un intercambio continuo de valores. Caso especial de señal continua. En la práctica se emplea el término “tiempo continuo” en lugar de “analógico”, pero estrictamente no son sinónimos (una señal analógica es continua pero no cuantificada).

**SEÑAL DIGITAL:** Señal discreta con amplitud cuantificada. Dicha señal se puede representar por medio de una secuencia de números (binarios, generalmente). En la práctica muchas señales digitales se obtienen mediante el muestreo de señales analógicas que después se cuantifican, la cuantificación es lo que permite que estas señales analógicas sean leídas como palabras binarias.

**SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO:** Sistema de control originado a partir de los ordenadores centrales de control de proceso utilizados en los años 60. Estos sistemas fueron desarrollados para los procesos de flujo continuo que requerían lazos de regulación analógicos. Se trata de sistemas en tiempo real y tolerantes a fallos para aplicaciones complejas de producción por lotes. A lo largo del tiempo han ido evolucionando, pasando del uso del software y hardware propietarios a sistemas basados en sistemas operativos como Windows.

**TIEMPO REAL:** Modalidad de funcionamiento de un sistema de proceso de datos que controla la actividad en curso, con un tiempo de respuesta prácticamente nulo a la recepción de señales de entrada. Cuando una acción realizada en el ordenador progresa paralelamente al tiempo del “mundo real”, se dice que la acción ocurre en tiempo real.

**TRANSDUCTOR:** Dispositivo que convierte una señal de entrada en una señal de salida de naturaleza diferente a la de entrada, tales como los dispositivos que convierten una señal de presión en un voltaje. Tipos: analógicos, de datos muestreados, digitales.

**VARIABLE MEDIDA:** Variable dinámica dada por los sensores, proporcional a la variable controlada. Normalmente es un nivel de voltaje o corriente.

## INTRODUCCIÓN

La automatización ha permitido a las empresas la modernización necesaria para poder competir en el mercado nacional e internacional al lograr aumentar su productividad, mejorar la calidad de sus productos, además de disminuir los riesgos y niveles de contaminación durante la producción. La automatización integra sistemas informáticos y sistemas de control; une el esfuerzo de ingenieros, técnicos, administradores, obreros, dirigentes, empresas, universidades, etc.

La Industria Licorera del Cauca como toda empresa industrial, comercial u organización de servicios debe entrar en un proceso de reestructuración de su sistema de gestión de la calidad para lograr un funcionamiento eficaz en un mercado cada vez más competitivo, es por tal motivo que junto con el Departamento de producción se llevo a cabo el Diseño e Implementación de un Sistema Supervisor de flujo y nivel por PC para la Industria Licorera del Cauca

La necesidad actual de realizar mejoras en el proceso de producción de aguardiente en la Industria Licorera del Cauca, involucra la medición de los distintos parámetros que intervienen en la preparación del producto final. Es por ello que es indispensable disponer de instrumentos que permitan obtener un control directo sobre el producto para poder mejorar su calidad y competitividad.

En este trabajo se realizará un estudio del proceso de producción del aguardiente mostrando las dificultades presentadas en el mismo, así como el diseño e implementación de un Sistema Supervisorio por computador que permita monitorear variables como el flujo de alcohol y nivel de aguardiente producido en cada preparación. Se implementara una solución de instrumentación industrial que junto con un software de supervisión y control SCADA permita solucionar eficazmente parte de los problemas presentados en la preparación del aguardiente.

El presente trabajo es el informe final de cada una de las actividades realizadas en la Industria licorera del Cauca, se incluye la metodología utilizada para la obtención, registro y análisis de la información así como los resultados obtenidos.



## **1. TÍTULO DE LA PASANTIA**

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SUPERVISOR DE FLUJO Y NIVEL POR PC PARA LA INDUSTRIA LICORERA DEL CAUCA.

## **2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La Industria Licorera del Cauca inicio el proceso de certificación de la norma NTC-ISO 9001:2000, dentro de la cual se contempla la medición, análisis y mejora del sistema de gestión de la calidad. Para esto, se hace necesario la medición de los procesos para realizar su análisis y mejora, al no disponer de instrumentos industriales adecuados para la medición de las diferentes variables involucradas en el proceso de preparación de aguardiente, la Industria Licorera del Cauca debe adquirir equipos tecnológicos de vanguardia para demostrar la idoneidad y la eficacia de su sistema de gestión de calidad y evaluar donde puede realizar las mejoras continuas de su sistema de gestión de la calidad. Esto debe incluir los datos generados del resultado de la medición de los diferentes procesos.

Es por ello que la dirección general y el departamento de producción de la Industria Licorera del Cauca se han interesado en la implementación de un sistema de supervisión automático de variables como son el flujo de alcohol y nivel de aguardiente producido que permitan contar con registros confiables de los insumos utilizados en la producción de aguardiente; todo esto, tendiente a lograr un aumento en la productividad y calidad del producto final en la Industria Licorera del Cauca.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La ejecución de este proyecto es importante debido a que se aplica directamente al medio industrial de la región y permite participar en la gradual automatización de la Industria Licorera del Cauca.

Este trabajo brinda la posibilidad de mostrar como el Ingeniero en Física se encuentra en capacidad de hacerle frente a dificultades que presentan las industrias de la región, en este caso particular en la Industria Licorera del Cauca, brindando soluciones a procesos complejos, que manejan tecnologías de más de 15 años y con procesos aún completamente manuales en varios casos, de allí la importancia de mostrar una manera más eficiente y de excelentes resultados que conduzcan a una gradual automatización y mejor equipamiento instrumental de los procesos. Esto se verá reflejado en un crecimiento de esta industria, trayendo consigo un cambio en la cultura tecnológica al desarrollo económico del Cauca, ya que el producto final será más competitivo y muestra que las soluciones se pueden generar con ingenieros formados en la región.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un sistema Supervisor de flujo y nivel industrial por PC para la Industria Licorera del Cauca.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Estudiar la dinámica del sistema a monitorear.
- Seleccionar, acondicionar e instalar los sensores, válvulas y dispositivos electrónicos de tipo industrial que mejor se adapten a la solución del problema.
- Implementar un Sistema Supervisorio a través de un PC.
- Divulgar los resultados parciales y totales obtenidos con el desarrollo de este trabajo en eventos y publicaciones relacionadas con el área de estudio.

## **5. MARCO REFERENCIAL**

La Industria Licorera del Cauca es una entidad Industrial y Comercial, con personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonio independiente, la Junta directiva es conformada por el Gobernador del Departamento, el Secretario de Hacienda, la Gerencia, las Divisiones, Secciones y Grupos.

La Industria Licorera del Cauca tiene como misión producir y comercializar licores de calidad para satisfacer a clientes y consumidores, generando recursos dirigidos a la salud, educación, cultura y recreación que contribuyan al desarrollo y bienestar de la comunidad con el apoyo y compromiso de su equipo humano.

La Industria Licorera del Cauca busca ampliar y fortalecer al año 2008 el mercado interno y externo a través del desarrollo competitivo de sus productos, con personal competente y tecnología apropiada para satisfacer las necesidades y expectativas de sus clientes y consumidores. Es por tal motivo que se han destinado recursos para iniciar nuevos proyectos que contribuyan al mejoramiento de su sistema de gestión de calidad, uno de estos es el de tener un registro y monitoreo constante del proceso de producción de aguardiente, con miras de realizar una medición, análisis y mejora de este proceso.

## 6. MARCO TEÓRICO

### 6.1 FUNDAMENTOS DEL FLUJO DE FLUIDOS

El flujo ( $G$ ) es la variable que representa el comportamiento dinámico de un fluido, ya que es el resultado de todas las condiciones que definen su movimiento. Se define a partir del principio de conservación de masa como la cantidad de masa ( $m$ ) que cruza una sección transversal de un conducto, en un intervalo de tiempo ( $\Delta t$ ) determinado.

$$G = \frac{m}{\Delta t}$$

El flujo se cuantifica de dos formas: midiendo directamente los cambios de masa, denominado flujo másico, o aprovechando que algunos fluidos mantienen constante la densidad, se miden solo los cambios de volumen, denominado flujo volumétrico.

#### 6.1.1 FLUJO MÁSIKO

Es la forma más exacta de cuantificar el flujo, ya que no depende de ninguna condición de trabajo local: gravedad, temperatura, presión o viscosidad. En un campo de flujo en estado estable, la masa que entra es igual a la que sale, en un intervalo de tiempo cualquiera. Como el flujo másico evalúa los cambios de

volumen y las variaciones locales de densidad aplica tanto a flujo incompresible (líquidos) como a flujo compresible (gases y vapor).

La mayor ventaja de un fluxómetro másico es la precisión que ofrece para monitorear y controlar un proceso, independientemente de las condiciones de flujo; además ofrece la posibilidad de usar la densidad como alternativa de control en procesos donde la composición de una mezcla sea crítica. La desventaja es su costo, que puede ser hasta cuatro veces mayor que el de uno volumétrico, para las mismas condiciones de flujo.

### **6.1.2 FLUJO VOLUMÉTRICO**

En muchos procesos, el fluido mantiene constante su densidad en un amplio rango de condiciones de operación, y se puede medir o estimar un valor medio, de manera que es posible cuantificar el flujo en su forma más simple: midiendo solo los cambios de volumen en un intervalo de tiempo representativo. También se denomina caudal ( $Q$ ) cuando se trabaja con fluidos incompresibles. Si un líquido se mueve por un tubo de sección transversal constante ( $A$ ), con un perfil de velocidad uniforme y simétrico ( $V_m$ ) con respecto a la dirección de flujo (Fig. 1), el caudal puede expresarse con la ley de continuidad como:

$$Q = AV_m$$

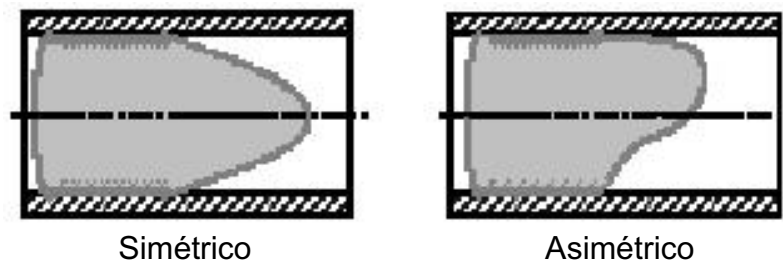
Debe quedar claro entonces que el término caudal aplica solo a un flujo volumétrico incompresible, es decir, al flujo de líquidos. En gases no aplica el

termino, porque la densidad varia localmente con las condiciones atmosféricas (temperatura y presión), o con las condiciones de operación, siendo necesario especificar la temperatura y presión a las que fue medido. Para estandarizar la medición del flujo volumétrico de gases se establecieron las condiciones de referencia. Escribiendo el cambio de volumen ( $v$ ) en función del área ( $A$ ) y la velocidad media ( $V_m$ ), el flujo másico( $G$ ) se puede expresar como:

$$G = \rho AV_m$$

que es la relación general para evaluar el flujo en conductos cerrados.

Figura 1. Perfil de Velocidad de Flujo.



## 6.2 TEORIA DEL FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERIAS

El método más común par transportar fluidos de un punto a otro es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Las tuberías de sección circular son las más frecuentes, ya que esta forma ofrece no sólo mayor resistencia estructural sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma.



Muy pocos problemas especiales de mecánica de fluidos, como es el caso del régimen laminar por tuberías, pueden ser resueltos por métodos matemáticos convencionales; todos los demás problemas necesitan métodos de resolución basados en coeficientes determinados experimentalmente. Muchas fórmulas empíricas han sido propuestas como soluciones a diferentes problemas de flujo de fluidos por tuberías, pero son muy limitadas y pueden ser aplicarse sólo cuando las condiciones de los experimentos de los cuales se derivan las fórmulas.

### **6.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS FLUIDOS**

La solución de cualquier problema de flujo de fluidos requiere un conocimiento previo de las propiedades físicas del fluido en cuestión. Valores exactos de las propiedades de los fluidos que afectan su flujo, principalmente la viscosidad y el peso específico, han sido establecidos por muchas autoridades en la materia para todos los fluidos utilizados normalmente en la industria, y muchos de ellos se encuentran en tablas.

**VISCOSIDAD:** La viscosidad expresa la facilidad que tiene un fluido a fluir cuando se le aplica una fuerza externa. El coeficiente de viscosidad absoluta, o simplemente la viscosidad absoluta de un fluido, es una medida de su resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones internas. La melaza es un líquido muy viscoso en comparación con el agua; a su vez, los gases son menos viscosos en

comparación con el agua. Se puede predecir de la mayor parte de los fluidos; en algunos la viscosidad depende del trabajo que se haya realizado sobre ellos.

**VISCOSIDAD ABSOLUTA O DINÁMICA ( $\mu$ ):** La unidad de viscosidad dinámica en el sistema internacional (SI) es el pascal por segundo (Pa s). Esta unidad se conoce con el nombre de poiseuille (Pl) en Francia, pero debe tenerse en cuenta que no es la misma que el poise (P) descrita a continuación. El poise es la unidad correspondiente en el sistema CGS de unidades y tiene dimensiones de dina por segundo (d s). El submúltiplo centipoise (cP),  $10^{-2}$  poises, es la unidad más utilizada para expresar la viscosidad dinámica y es la unidad que se encuentra comúnmente en las tablas. La viscosidad del agua a 20° C es muy cercana a un centipoise.

**VISCOSIDAD CINEMÁTICA ( $\nu$ ):** Es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad. En el sistema internacional la unidad de viscosidad cinemática es el metro cuadrado por segundo ( $m^2 / s$ ). La unidad CGS correspondiente es el stoke (St), con dimensiones de centímetro cuadrado por segundo y el centistoke (cSt),  $10^{-2}$  stokes, que es el submúltiplo más utilizado.

$$\nu(\text{Centistokes}) = \frac{\mu(\text{centipoise})}{\rho(\text{gramos} / \text{cm}^3)}$$

La medida de la viscosidad absoluta de los fluidos requiere de instrumental adecuado y de una considerable habilidad experimental, se puede utilizar un instrumento muy simple, como es un viscosímetro de tubo, para medir la

viscosidad cinemática de los líquidos. Con este tipo de instrumentos se determina el tiempo que necesita un volumen pequeño de líquido para fluir por un orificio y la medida de la viscosidad cinemática se expresa en términos de segundos.

#### **6.4 REGÍMENES DE FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERIAS: LAMINAR Y TURBULENTO**

La velocidad crítica de un fluido indica la diferencia de un flujo laminar y un flujo turbulento. El tipo de flujo que existe a velocidades más bajas que la crítica se conoce como régimen laminar y a veces como régimen viscoso. Este régimen se caracteriza por el deslizamiento de capas cilíndricas concéntricas una sobre otra de manera ordenada. La velocidad del fluido es máxima en el eje de la tubería y disminuye rápidamente hasta anularse en la pared de la tubería.

A velocidades mayores que la crítica, el régimen es turbulento. En el régimen turbulento hay un movimiento irregular e indeterminado de las partículas del fluido en direcciones transversales a la dirección principal del flujo; la distribución de velocidades en el régimen turbulento es más uniforme a través del diámetro de la tubería que en régimen laminar. A pesar de que existe un movimiento turbulento a través de la mayor parte del diámetro de la tubería, siempre hay una pequeña capa de fluido en la pared de la tubería, conocida como la “capa periférica” o “subcapa laminar”, que se mueve en régimen laminar.

**VELOCIDAD MEDIA DE FLUJO (V):** El término “velocidad”, a menos que se diga lo contrario, se refiere a la velocidad media o promedio de cierta sección transversal dada por la ecuación de continuidad para flujo estacionario:

$$v = \frac{q}{A}$$

Donde;  $v$  es velocidad media del fluido en  $m / s$ ,  $q$  es el caudal en  $m^3 / s$ ,  $A$  es el área de la sección transversal de la tubería en  $m^2$ .

**NÚMERO DE REYNOLDS (Re):** Las investigaciones de Osborne Reynolds han demostrado que el régimen de flujo en tuberías, es decir, si es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, la densidad y la viscosidad del fluido y velocidad de flujo. El valor numérico de una combinación adimensional de estas cuatro variables, conocido como número de Reynolds, puede considerarse como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad. el número de Reynolds es:

$$Re = \frac{dv\rho}{\mu}$$

Donde;  $d$  es el diámetro interior de la tubería en  $mm$ ,  $v$  es la velocidad media del fluido en  $m / s$ ,  $\rho$  es la densidad del fluido en  $Kg / m^3$  y  $\mu$  es la viscosidad dinámica en centipoises.

El régimen de flujo en tuberías se considera como laminar si el número de Reynolds es menor que 2000 y turbulento si el número de Reynolds es superior a 4000. Entre estos dos valores está la zona “crítica” donde el régimen, turbulento o de transición, dependiendo de muchas condiciones con posibilidad de variación.

## **6.5 MEDICIÓN DE CAUDAL**

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en las efectuadas en laboratorio y en plantas piloto es muy importante la medición de los caudales de líquidos o de gases.

Existen varios métodos para medir el caudal según sea el tipo de caudal volumétrico o másico deseado.

### **6.5.1 MEDIDORES VOLUMÉTRICOS**

Los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen del fluido, bien sea directamente (desplazamiento), bien indirectamente por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino).

Hay que señalar que la medida del caudal volumétrico en la industria se efectúa principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del

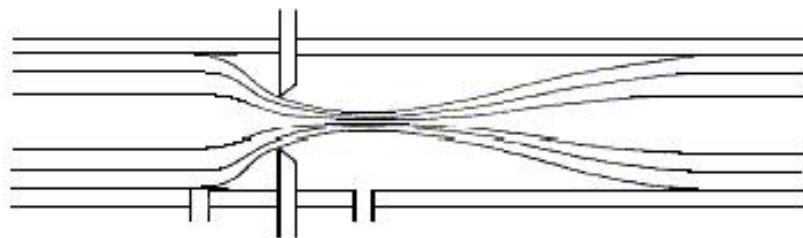
fluido. Entre estos elementos se encuentran la placa-orificio, la tobera y el tubo Venturi.

## INSTRUMENTOS DE PRESIÓN DIFERENCIAL

**Placa Orificio:** Consiste en una placa perforada instalada en la tubería. Dos tomas conectadas en la parte posterior de la placa, captan la presión diferencial la cual es proporcional al cuadrado del caudal.

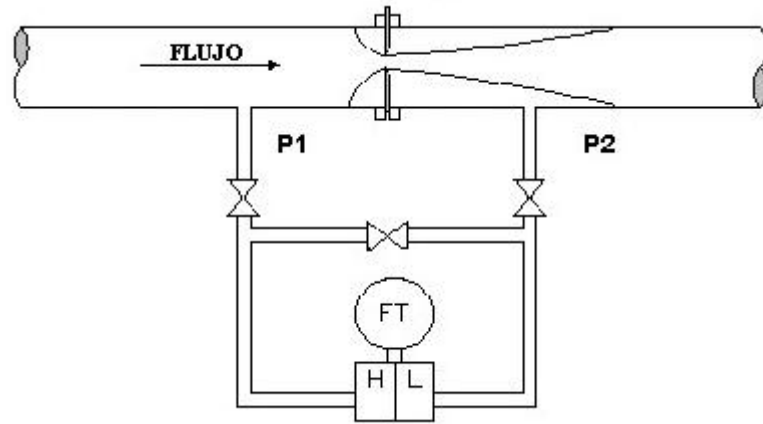
El orificio de la placa puede ser concéntrico, excéntrico o segmental, con un pequeño orificio de purga o venteo para los pequeños arrastres sólidos o gases que pueda llevar el fluido. Las dos últimas placas permiten medir caudales de fluidos que contengan una cantidad pequeña de sólidos. La precisión obtenida con la placa es del orden del 1 al 2%.

Figura 2. Vena contracta.



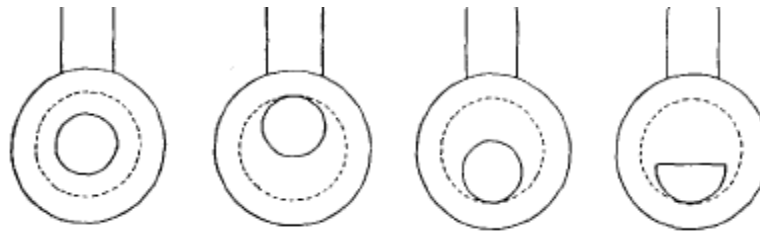
Contracción de la vena del fluido debido a un elemento estrangulador

Figura 3. Placa Orificio.



Obstáculo: Placa Orificio

Figura 4. Tipos de Placa-orificio.



Concéntrico

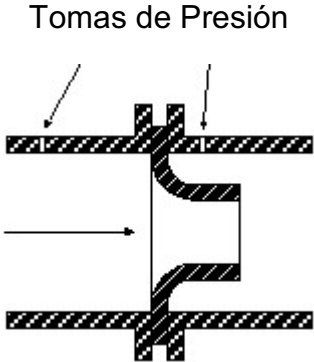
Excéntrico

Segmental

**Tobera:** Está situada en la tubería con dos tomas, una anterior y otra en el centro de la sección más pequeña. La tobera permite caudales 60% superiores a los de la placa-orificio en las mismas condiciones de servicio. Su pérdida de carga es de 30 a 80% de la presión diferencial. Puede emplearse para fluidos que arrastren sólidos en pequeña cantidad, si bien, si estos sólidos son abrasivos, pueden

afectar la precisión del instrumento. El costo de la tobera es de 8 a 16 veces el de una placa-orificio y su precisión es del orden del 0,95 a 1,5%.

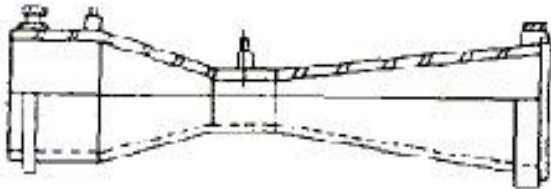
Figura 5. Tobera.



**Tubo Venturi:** Permite la medición de caudales 60% superiores a los de la placa-orificio en las mismas condiciones de servicio y con una pérdida de carga de sólo 10 a 20% de la presión diferencial. Posee una gran precisión y 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. El costo del Tubo Venturi es elevado, del orden de 20 veces el de una placa-orificio y su precisión es del orden de 0,75%.

Figura 6. Tubo Venturi.

Toma anterior



Cono de entrada

Cono de salida



**Tubo Pitot:** Mide la diferencia entre la presión total y la presión estática, o sea, la presión dinámica, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad.

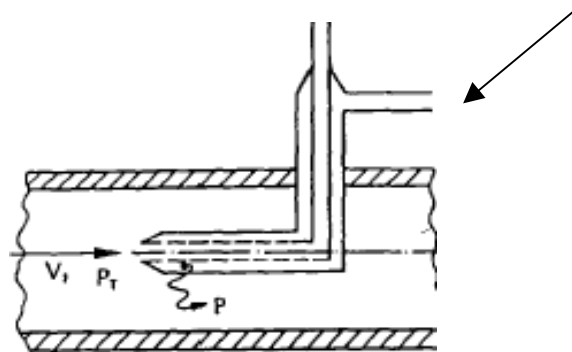
El tubo Pitot es sensible a las variaciones en la distribución de velocidades en la sección de la tubería, de aquí que en su empleo es esencial que el flujo sea laminar disponiéndolo en un tramo recto de tubería. La máxima exactitud en la medida se consigue efectuando varias medidas en puntos determinados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

Su presión es baja, del orden del 1,5 al 4%, y se emplea normalmente para la medición de grandes caudales de fluidos limpios con una baja pérdida de carga.

Figura 7. Tubo Pitot.

Presión total o de impacto  $P_t$

Presión estática  $P$



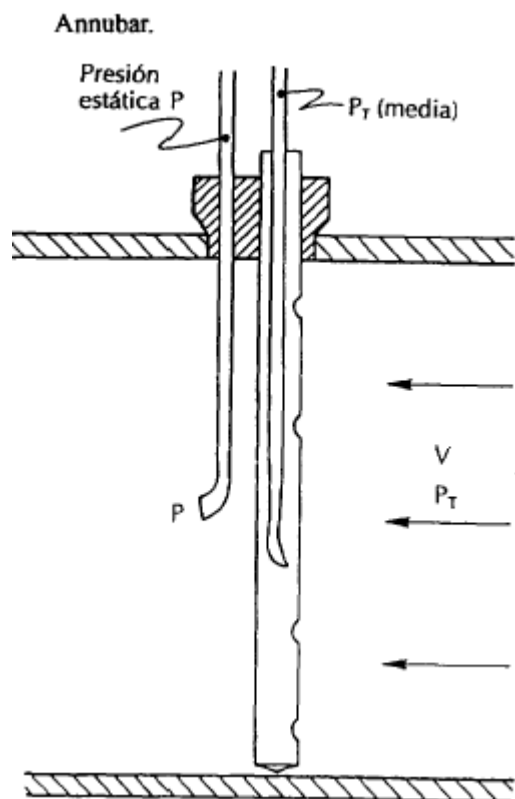
**Tubo Annubar:** Es una innovación del tubo Pitot y consta de dos tubos, el de presión total y el de presión estática. El tubo que mide la presión total está situado a lo largo de un diámetro transversal de la tubería y consta de varios orificios de posición crítica determinada por computador, que cubren 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.

El tubo Annubar es de mayor precisión que el tubo Pitot, del orden del 1%, tiene una baja pérdida de carga y se emplea para la medida de pequeños o grandes caudales de líquidos y de gases.

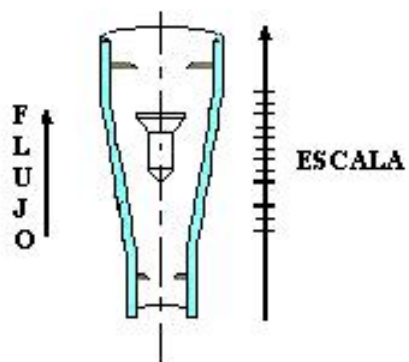
Figura 8. Tubo Annubar.



## INSTRUMENTOS DE ÁREA VARIABLE

**Rotámetro:** Son medidores de caudal de área variable en los cuales un flotador cambia su posición dentro de un tubo, proporcionalmente al flujo del fluido.

Figura 9. Rotámetro.



Los tubos empleados en los rotámetros pueden ser de vidrio y metálicos. Los fabricantes los mecanizan de tal modo que queda asegurada la intercambiabilidad de los diversos tubos y flotadores a fin de obtener caudales correspondientes sin necesidad de calibrar individualmente cada Rotámetro.

Los tubos de vidrio pueden ser con nervios interiores que sirven para guiar el flotador. Los metálicos son siempre cónico lisos y precisan de extensión por no tener una lectura directa.

Los tubos 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. Esta relación varía entre 1,20 a 1,35.

Los flotadores pueden tener varios perfiles de construcción:

- Esféricos para bajos caudales y poca precisión, con una influencia considerable de la viscosidad del fluido.
- Cilíndricos con borde plano 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 que, por sus características de caudal, puede compararse a una tobera.
- Cilíndrico, con bordes salientes contra el flujo y con la mínima influencia de la viscosidad del flujo, que por su funcionamiento, puede compararse a una placa-orificio.

El material más empleado en los flotadores es el acero inoxidable 316 si bien, para satisfacer la gran variedad de requerimientos de resistencia a la corrosión que se presentan en la industria se utilizan también otros metales como el aluminio, bronce, monel, níquel, hastelloy, plomo y tantalio. Se utilizan también flotadores de plástico, si bien se prefieren los metálicos por su mayor facilidad de mecanización del borde superior.

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. La escala puede estar grabada en unidades directas del caudal (referido siempre a unas condiciones de servicio dadas) o bien en porcentaje de 10 a 100% de la escala total. En este último caso, se añade un factor de multiplicación a todas las lecturas para convertir a unidades de caudal en volumen o peso del fluido. Otra forma de graduar la escala es en mm acompañando una curva de calibración caudal-lectura en mm para determinar el caudal del fluido. La curva de calibración se emplea en rotámetros de pequeña capacidad en los cuales el caudal no es lineal dentro del intervalo del campo de medida 10 a 1.

## **DE VELOCIDAD**

**Vertederos:** Se utilizan para medir caudales en canales abiertos y se encuentran en formas variadas. Estos provocan una diferencia de alturas del líquido en el canal entre la zona anterior del vertedero y su punto más bajo. El vertedero debe formar un ángulo recto con la dirección del caudal y el canal aguas arriba debe ser recto como mínimo en una distancia de 10 veces la anchura. La diferencia de alturas debe medirse en un punto aguas arriba lo suficientemente alejado como para no ser influido por la curva de bajada de la superficie del agua y es

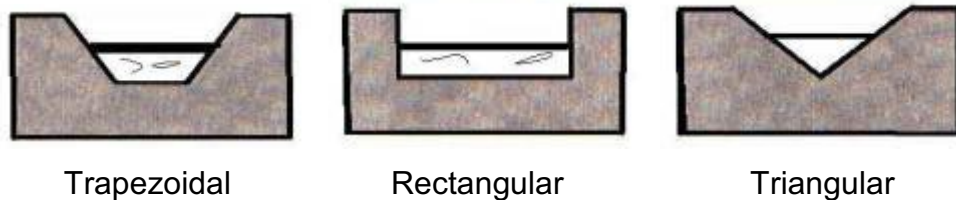
conveniente incluso utilizar un pozo de protección (tubería de diámetro ligeramente mayor que el flotador) para el flotador del instrumento de medida, caso de utilizar este sistema.

Los vertederos más utilizados son los siguientes tipos:

- Rectangular con contracción lateral, simple y fácil de construir y el más económico. Es apto para la medida de caudales de 0 - 60 m<sup>3</sup>/h a 0 – 2000 m<sup>3</sup>/h.
- Triangular o en V, que consiste en una placa con corte en V de vértice dirigido hacia abajo y con cada lado igualmente inclinado respecto a la vertical. A igualdad de tamaño, su campo de medida es más amplio que el de los otros vertederos. Es capaz de medir caudales dentro del intervalo 0 – 30 m<sup>3</sup>/h a 0 – 2300 m<sup>3</sup>/h.
- Cipolletti o trapezoidal con 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. Su campo de medida equivale al del vertedero rectangular.
- El vertedero Parshall o Venturi se emplea normalmente en aquellas aplicaciones en las que un vertedero normal no es siempre adecuado tal como ocurre cuando el líquido transporta sólidos o sedimentos en cantidad excesiva, o bien cuando no existe altura de presión suficiente, o bien cuando no es

posible construir un tramo recto de longitud suficiente (un mínimo de 10 veces la anchura del canal). Puede utilizarse para caudales superiores a  $0 - 30 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Figura 10. Vertederos.



Un instrumento de flotador, o bien de burbujeo, mide la diferencia de alturas dada y puede indicar, regular y registrar directamente el caudal o bien transmitirlo a distancia con un transmisor.

**Caudalimetro de Turbina:** Consiste en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal. La velocidad del fluido ejerce una fuerza de arrastre en el rotor; la diferencia de presiones debida al cambio de área entre el rotor y el cono posterior ejerce una fuerza igual y opuesta. De este modo el rotor está equilibrado hidrodinámicamente y gira entre los conos anterior y posterior sin necesidad de utilizar rodamientos axiales evitando así un rozamiento que necesariamente se produciría.

Existen dos tipos de convertidores para captar la velocidad de la turbina. En el de reluctancia la velocidad viene determinada por el paso de las palas individuales de la turbina a través del campo magnético creado por un imán permanente montado

en una bobina captadora exterior. El paso de cada pala varía varia la reluctancia del circuito magnético. Esta variación cambia el flujo induciendo en la bobina captadora una corriente alterna que, por lo tanto es proporcional al giro de la turbina.

En el tubo inductivo el rotor lleva incorporado un imán permanente y el campo magnético giratorio que se origina induce una corriente alterna en una bobina captadora exterior.

En ambos casos, la frecuencia que genera el rotor de turbina es proporcional al caudal siendo del orden de 250 a 1200 ciclos por segundo para el caudal máximo. Por ejemplo, si un rotor de seis palas gira a 100 revoluciones por segundo, genera 600 impulsos por segundo. El número de impulsos por unidad de caudal es constante. La turbina está limitada por la viscosidad del fluido.

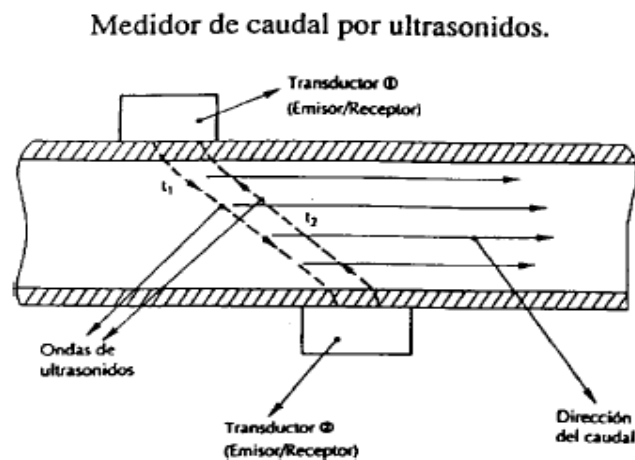
La precisión es muy elevada, del orden del 0,3%. La máxima precisión se consigue con un régimen laminar instalando el instrumento en una tubería recta de longitudes mínimas 15 diámetros aguas arriba y 6 diámetros aguas abajo. El instrumento es adecuado para medida de caudales de líquidos limpios o filtrados. Debe instalarse de tal modo que no se vacíe cuando cesa el caudal ya que el choque del agua a alta velocidad contra el medidor vacío lo dañaría seriamente. La sobrevelocidad por exceso de caudal puede ser también perjudicial para el instrumento. La frecuencia generada por el medidor de turbina se transmite a un convertidor indicador o totalizador.



**Caudalímetro Ultrasónico:** Miden el caudal por diferencia de velocidades del sonido al propagarse éste en el sentido del flujo y en el sentido contrario. Los sensores están situados en una tubería de la que se conocen el área y el perfil de velocidades. Los principios de funcionamiento de estos instrumentos son variados, como:

- Desviación de haz de sonido emitido por un transmisor perpendicular a la tubería, el cual se utiliza para líquidos limpios.
- Método Doppler. Se proyectan ondas sónicas a lo largo del flujo del fluido y se mide el corrimiento de frecuencia que experimenta la señal de retorno al reflejarse el sonido en partículas contenidas en el fluido. El método viene limitado por la necesidad de la presencia de partículas, pero permite medir algunos caudales de fluidos difíciles tales como mezclas gas-líquido, fangos, etc.

Figura 11. Medidor Ultrasónico.



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

Los transductores sónicos tienen una precisión de 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 en 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 (por ejemplo, la velocidad en el seno del agua varía 0,2% por cada grado centígrado).

## **DE FUERZA**

**Placa de impacto:** Consiste en una placa instalada directamente en el centro de la tubería y sometida al empuje del fluido.

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. La placa está conectada 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

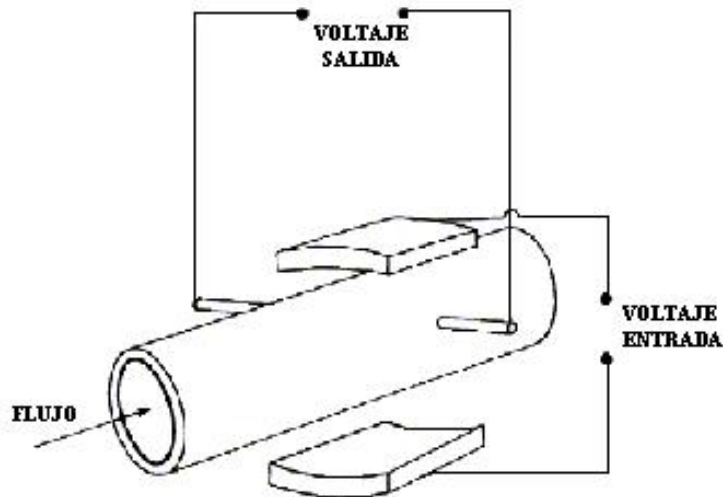
del caudal. El caudal es proporcional a la raíz cuadrada de la fuerza de impacto del fluido sobre la placa y por lo tanto, a la raíz cuadrada de la señal transmitida.

La precisión en la medida es de 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 0,3 l/min hasta 40.000 l/min.

## **DE TENSIÓN INDUCIDA**

**Caudalímetro magnético:** El principio de funcionamiento se basa en la Ley de inducción electromagnética de Faraday. Un campo magnético perpendicular al caudal de medición crea una excitación en dos bobinas ubicadas paralelamente por fuera de la cañería. Al pasar el flujo por el campo magnético creado por las bobinas, se induce una f.e.m. la cual es proporcional a la velocidad del flujo y por consiguiente al caudal.

Figura 12. Caudalimetro magnético.



En el caudalimetro magnético el conductor es el líquido y la f.e.m. es la señal generada, esta señal es captada por dos electrodos rasantes con la superficie interior del tubo y diametralmente opuestos.

La conductividad del fluido es la única característica propia del líquido que puede limitar el empleo del caudalimetro magnético. El sistema electrónico utilizado en el elemento y en el receptor permite medir caudales de líquidos que tengan una conductividad superior a 3 micro ohmios/cm. No obstante, en casos especiales puede trabajarse con valores menores, añadiendo al circuito de medida un preamplificador adicional (acondicionador de señal), alcanzándose una conductividad mínima de 3 micro ohmios/cm. Con electrodos planos, sin contacto con el líquido, aislados dentro de las capas del material del revestimiento y acoplados capacitivamente con el proceso, es posible medir caudales de líquidos con conductividades tan bajas como 0,05 micro ohmios/cm.

### Características de los caudalímetros magnéticos:

- Se utilizan para cualquier fluido que sea conductor
- Se utiliza para fluidos espesos y contaminados
- Su medición es lineal
- No necesita restricciones en la línea
- No tiene partes móviles
- No se necesitan cañerías rectas aguas arriba o aguas abajo
- No se necesita un límite de presión en la línea
- El rango de medición se puede cambiar en el transmisor acoplado al caudalímetro
- Mide caudal en ambos sentidos
- Mide diferentes tipos de líquidos sin necesidad de volver a calibrar para cada caso
- Se puede montar casi en cualquier posición
- El costo de instalación es relativamente bajo
- Es resistente a la corrosión

## DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Los caudalímetros 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 presión depende de los huelgos entre las partes móviles y las fijas y aumenta con la calidad de la mecanización y con el tamaño del instrumento.

Existen cinco tipos básicos de caudalímetros de desplazamiento positivo:

- Disco oscilante
- Pistón oscilante
- Pistón alternativo
- Rotativos
- De paredes deformables

**Caudalímetro de pistón oscilante:** El instrumento dispone de una cámara circular con un disco plano móvil dotado de 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 opuesto. De este modo la cámara está dividida en compartimentos separados de volumen conocido.

Cuando pasa el fluido, el disco toma un movimiento parecido al de un trompo caído 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. Este movimiento de balanceo se transmite mediante el eje del disco e un tren de engranajes. El par disponible es pequeño, lo que pone un límite en la utilización de accesorios mecánicos. Empleado originalmente en aplicaciones domésticas para agua, se utiliza industrialmente en la medición de caudales de agua fría, agua caliente, aceites y líquidos alimenticios. La precisión es de 1 – 2 %. El caudal máximo es de 600 l/min y se fabrica para pequeños tamaños de tubería.

**Caudalimetro de pistón oscilante:** Se compone de una cámara de medida cilíndrica con una placa divisora que separa los orificios de entrada y 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 divisora 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.

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

Se fabrican para tamaños de tubería hasta 2" con caudales máximos de 600 l/min.

Se aplican en la medición de caudales de agua y de líquidos viscosos o corrosivos.

**Caudalimetro de pistón alternativo:** Es el más antiguo de los medidores de desplazamiento positivo. El instrumento se fabrica en muchas formas: de varios pistones, pistones de doble acción, válvulas rotativas, válvulas deslizantes horizontales. Estos instrumentos se han empleado mucho en la industria petroquímica y pueden alcanzar una precisión del orden de 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.

**Caudalimetro rotativo:** Este instrumento 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. Se emplean mucho en la industria petroquímica para la medida de crudos y de gasolina con intervalos de medida que van de unos pocos Lts/min de líquidos limpios de baja viscosidad hasta 64.000 Lts/min de crudos viscosos.

Hay varios tipos de medidores rotativos, siendo los más empleados, los cicloidales, los de dos rotores (birrotor) y los ovals.



Figura 13. Caudalímetro Cicloidal.

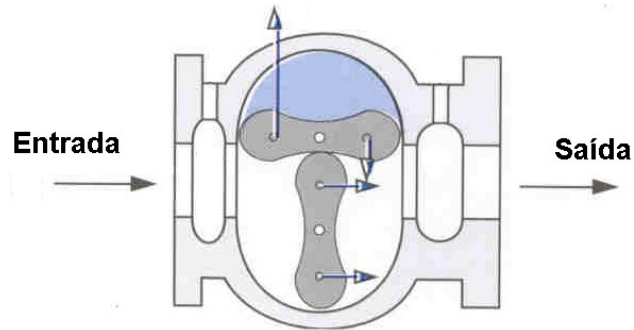
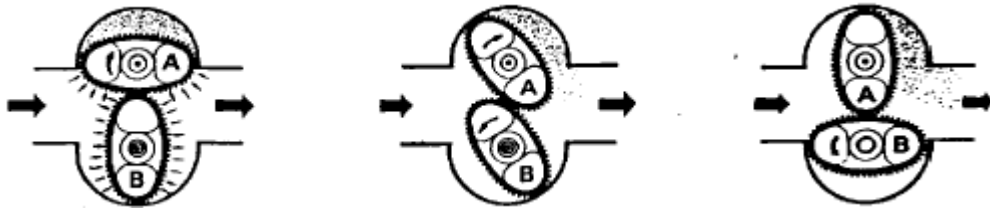


Figura 14. Caudalímetro Oval.



**Caudalímetro de paredes deformables:** También llamado de membrana o de 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.

**Caudalímetro de Torbellino y Vórtex:** El medidor de caudal por torbellino se basa en la determinación de la frecuencia del torbellino producido por una hélice estática situada dentro de la tubería por donde pasa el fluido (líquido o gas). La frecuencia del torbellino es proporcional a la velocidad del fluido.

La detección de la frecuencia se logra con sensores de presión de cristales piezoeléctricos que detectan los picos de presión en el lado contrario del torbellino, o con una termistancia de muy baja inercia térmica que sigue los efectos de

refrigeración del torbellino generado en el gas, o bien mediante un condensador de capacidad variable, función de la deformación de un diafragma (placa) ante las ondas de presión del torbellino o bien mediante la aplicación de un haz de ultrasonidos perpendicularmente al torbellino, midiendo el tiempo de tránsito del haz desde el transmisor al receptor.

Los transductores de torbellino son adecuados en la medida de caudales de gases y de líquidos y su intervalo de medida entre el valor máximo y el mínimo es de 50 a 1. Deben instalarse en tubería recta con longitudes mínimas de 10 diámetros aguas arriba y de 5 diámetros aguas abajo. El medidor debe instalarse perfectamente alineado con la tubería para asegurar la formación correcta de torbellinos.

La precisión del instrumento es de 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.

Los instrumentos de vórtex son parecidos al de torbellino, excepto que están basados 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. La precisión es de 1 %.

**Caudalímetro oscilante:** Consiste en un pequeño orificio situado en el cuerpo del medidor, que genera una presión diferencial y provoca el paso del fluido por el área de medida. Ésta contiene una válvula oscilante que perturba la circulación del

fluido. A medida que este flujo turbulento pasa a través de la abertura se crea una zona de baja presión detrás de la válvula, con lo que ésta oscila a una frecuencia directamente proporcional al caudal. Un transductor de impulsos capta las oscilaciones de la válvula e indica el caudal.

El caudalímetro oscilante es adecuado en la medida de caudales de fluidos con partículas en suspensión, y en las mezclas de líquidos y gases provocadas por vaporizaciones imprevistas del líquido al bajar la presión. Su precisión es del orden del 0,5 %.

### **6.5.2 MEDIDORES DE CAUDAL MASA**

Si bien en la industria se utilizan normalmente medidores volumétricos de caudal, con el caudal determinado en las condiciones de servicio, o bien compensado según la presión, la temperatura o la densidad tal como se ha estudiado anteriormente, en ocasiones interesa aprovechar características medibles de la masa. En este caso existen dos tipos básicos, los instrumentos térmicos y los de Coriolis.

**Caudalímetro térmico:** Se basan comúnmente en dos principios físicos:

a) La elevación de temperatura del fluido en su paso por un cuerpo caliente, y

b) La pérdida de calor experimentada por un cuerpo caliente inmerso en el fluido.

De los dos principios, el más utilizado industrialmente es el primero debiendo señalar que el primer instrumento de esta clase fue proyectado por Thomas en 1911 para medir el caudal masa de gas en una tobera. Por este motivo estos aparatos reciben también el nombre de medidores de caudal Thomas.

El caudalímetro térmico 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. Cuando el fluido está en reposo, la temperatura es idéntica en las dos sondas. Cuando el fluido circula, transporta una cantidad de calor hacia el segundo elemento, 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.

El sistema está conectado a un puente de Wheatstone que determina la diferencia de temperaturas y la amplifica con una señal de salida de 0-5 Vcc en 1000 ohmios de impedancia. Esta señal puede ser utilizada en registradores, indicadores digitales y controladores que pueden estar situados hasta 300 m del instrumento.

La precisión es de 1 % y se utiliza para caudales bajos de gas que van según los modelos de 0-10 cm<sup>3</sup>/min.

**Caudalimetro de Coriolis:** Se basa en la generación de la fuerza de Coriolis, la cual es producida por la inversión de las velocidades lineales del fluido mediante la desviación de un lazo en forma de omega ( $\Omega$ ) en estado de vibración controlada (a la frecuencia de resonancia para reducir la energía requerida). La vibración del tubo, perpendicular al sentido de desplazamiento del fluido, crea una fuerza de aceleración en la tubería de entrada del fluido y una fuerza de desaceleración en la salida, con lo que se genera un par cuyo sentido va variando de acuerdo con la vibración y con el ángulo de torsión del tubo, que es directamente proporcional a la masa instantánea de fluido circulante.

## 6.6 MEDICIÓN DE NIVEL

En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales.

La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables, tales como la presión y la temperatura, permite añadir “inteligencia” en la medida del nivel, y obtener precisiones de lectura altas, del orden del 0,2 %, en el intervalo de materias primas o finales o en transformación en los tanques del proceso. El transmisor de nivel “inteligente” hace posible la interpretación del nivel real (puede eliminar o compensar la influencia de la

espuma en flotación del tanque, en la lectura), la eliminación de las falsas alarmas (tanques con olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimiento), y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión.

El transmisor o varios transmisores pueden conectarse, a través de una conexión RS-232, a un ordenador personal, que con el software adecuado, es capaz de configurar transmisores inteligentes.

Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de nivel de líquidos y de sólidos.

#### **6.6.1 MEDIDORES DE NIVEL DE LÍQUIDOS**

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o bien aprovechando características eléctricas del líquido.

Los instrumentos de medida directa se dividen en:

- Medidor de sonda
- Medidor de cinta y plomada
- Medidor de nivel de cristal
- Medidor de flotador.

Los aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática se dividen en:

- Medidor manométrico
- Medidor de membrana
- Medidor de tipo burbujeo
- Medidor de presión diferencial de diafragma

Los instrumentos que utilizan características eléctricas del líquido se clasifican en:

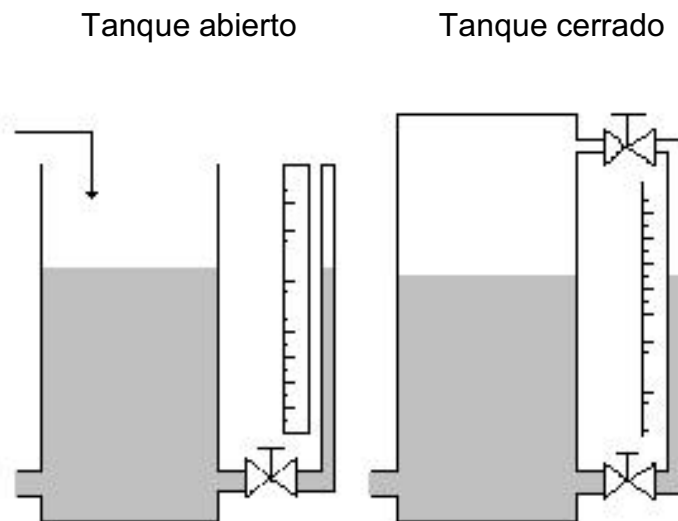
- Medidor conductivo
- Medidor capacitivo
- Medidor ultrasónico
- Medidor de radiación
- Medidor láser

## **INSTRUMENTOS DE MEDIDA DIRECTA**

**Medidor de sonda:** Consiste en una varilla o regla graduada, de la longitud conveniente para introducirla dentro del depósito. La determinación del nivel se efectúa por la lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el estanque debe estar abierto a presión atmosférica. Se utiliza generalmente en estanques de gasolina.

Otro medidor consiste en una varilla graduada, con un gancho que se sumerge en el seno del líquido y se levanta después hasta que el gancho rompe la superficie del líquido. La distancia desde esta superficie hasta la parte superior del estanque representa indirectamente el nivel. Se emplea en estanques de agua a presión atmosférica.

Figura 15. Medidor de Sonda.



**Medidor de cinta y plomada:** Este sistema es parecido a los anteriores, consta de una cinta graduada y un plomo en la punta. Se emplea cuando es difícil que la regla tenga acceso al fondo del estanque.

**Medidor de cristal:** Consiste en un tubo de vidrio con sus extremos conectados a bloques metálicos y cerrados por prensaestopas que están unidos al estanque



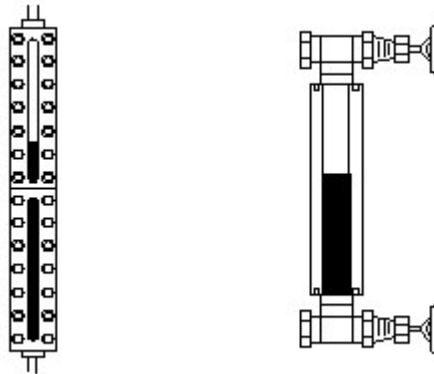
generalmente mediante tres válvulas, dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo para impedir el escape del líquido en caso de rotura del cristal y una de purga.

El nivel de cristal normal se emplea para presiones hasta 7 bar. A presiones más elevadas el cristal es grueso, de sección rectangular y está protegido por una armadura metálica.

Figura 16. Medidor de Cristal.

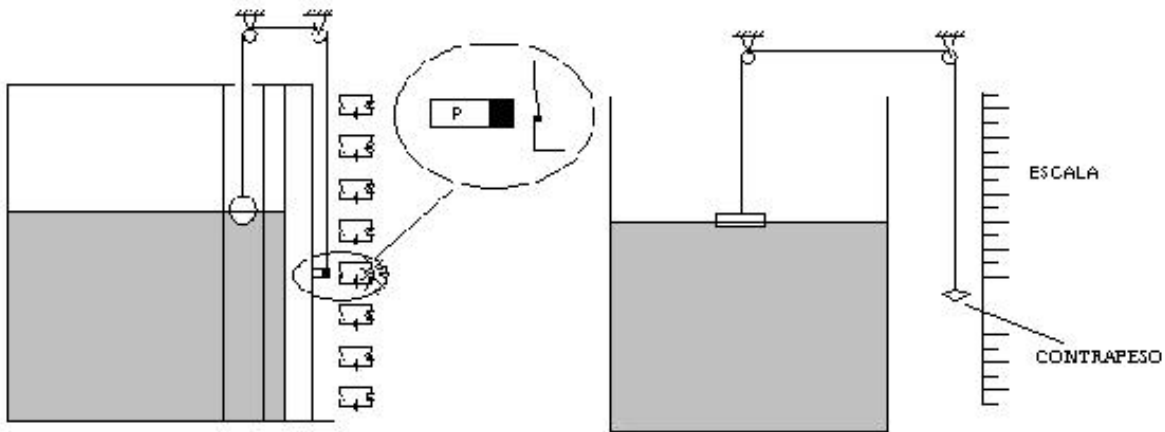
Cristal con armadura

Cristal normal



**Medidor de flotador:** Consiste en un flotador ubicado en el seno del líquido y conectado al exterior del estanque indicando directamente el nivel sobre una escala graduada. Es el modelo más antiguo y el más utilizado en estanques de gran capacidad tales como los de petróleo y gasolina. Tiene el inconveniente de que las partes móviles están expuestas al fluido y pueden romperse, además el flotador debe mantenerse limpio.

Figura 17. Medidor de Flotador.



Hay que señalar que en estos instrumentos, el flotador puede tener formas muy variadas y estar formados por materiales muy diversos según sea el tipo de fluido.

Los instrumentos de flotador tienen una precisión de 0,5 %. Son adecuados en la medida de niveles en estanques abiertos y cerrados a presión o a vacío, y son independientes del peso específico del líquido. Por otro lado, el flotador puede agarrotarse en el tubo guía por un eventual depósito de los sólidos o cristales que el líquido pueda contener y además los tubos guía muy largos pueden dañarse ante olas bruscas en la superficie del líquido o ante la caída violenta del líquido en el estanque.

## INSTRUMENTOS BASADOS EN LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA.

**Medidor manométrico:** Consiste en un manómetro conectado directamente a la inferior del estanque. El manómetro mide la presión debida a la altura de líquido  $h$  que existe entre el nivel del estanque y el eje del instrumento. Así pues, el rango de medida del instrumento corresponderá a:

$$0 - (h \cdot \rho \cdot g)$$

$h$  = altura de líquido en m

$\rho$  = densidad del líquido en  $\text{Kg/m}^3$

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Como las alturas son limitadas, el rango de medida es bastante pequeño, de modo que el manómetro utilizado tiene un elemento de medida del tipo fuelle.

El instrumento sólo sirve para fluidos limpios ya que si el líquido es corrosivo, coagula o bien tiene sólidos en suspensión, el fuelle puede destruirse o bien bloquearse perdiendo su elasticidad; por otra parte, como el rango de medida es pequeño no es posible utilizar sellos de diafragma. La medida está limitada a estanques abiertos y el nivel viene influido por las variaciones de densidad del líquido.

**Medidor de membrana:** Utiliza una membrana conectada con un tubo estanco al instrumento receptor. La fuerza ejercida por la columna de líquido sobre el área de la membrana comprime el aire interno a una presión igual a la ejercida por la columna de líquido. El instrumento es delicado ya que cualquier pequeña fuga del aire contenido en el diafragma destruiría la calibración del instrumento.

**Medidor de tipo burbujeo:** Mediante un regulador de caudal se hace pasar por un tubo (sumergido en el depósito hasta el nivel mínimo), un pequeño caudal de aire o gas inerte hasta producir una corriente continua de burbujas. La presión requerida para producir el flujo continuo de burbujas es una medida de la columna de líquido.

Este sistema es muy ventajoso en aplicaciones con líquidos corrosivos con materiales en suspensión (el fluido no penetra en el medidor, ni en la tubería de conexión).

**Medidor de presión diferencial:** Consiste en un diafragma en contacto con el líquido del estanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del estanque. En un estanque abierto esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico, es decir:  $P = h\rho g$  en la que:

P = presión

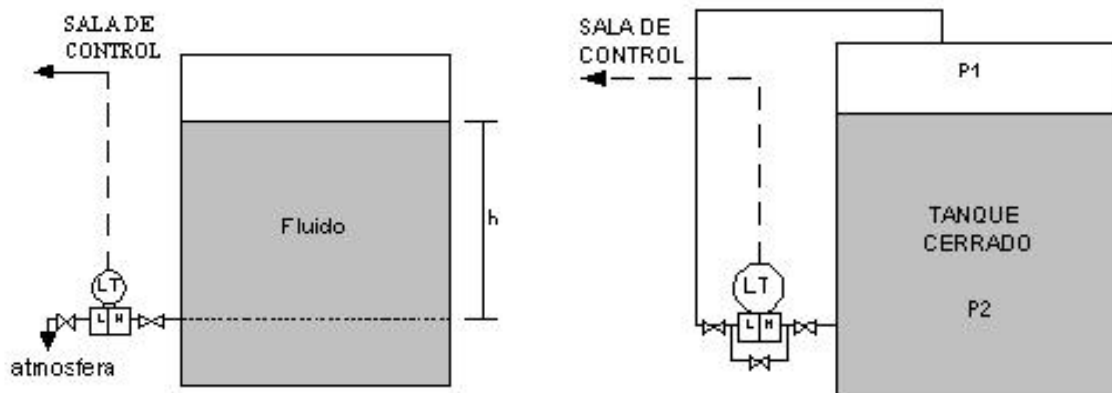
h = altura del líquido sobre el instrumento

$\rho$  = densidad del líquido

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

El diafragma forma parte de un transmisor neumático, electrónico o digital de presión diferencial. En el tipo más utilizado, el diafragma está fijado en un flange que se monta rasante al estanque para permitir si dificultades la medida de nivel de fluidos, tales como pasta de papel y líquidos con sólidos en suspensión, pudiendo incluso ser de montaje saliente para que el diafragma enrase completamente con las paredes interiores del estanque tal como ocurre en el caso de líquidos extremadamente viscosos en que no puede admitirse ningún recodo.

Figura 18. Medidor de Presión Diferencial.



La precisión de los instrumentos de presión diferencial es de  $\pm 0,5 \%$  en los neumáticos,  $\pm 0,2 \%$  a  $\pm 0,3 \%$  en los electrónicos, y de  $\pm 0,15 \%$  en los “inteligentes” con señales de salida de 4-20 mA c.c.

Hay que señalar que el material del diafragma debe ser el adecuado para resistir la corrosión del fluido (existen materiales de acero inoxidable 316, monel, tantalio, hastelloy B, inoxidable recubierto de teflón).

## **INSTRUMENTOS BASADOS EN EL DESPLAZAMIENTO**

**Medidor de nivel de tipo desplazamiento:** Consiste en un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión unido rígidamente al estanque. Dentro del tubo y unido a su extremo libre se encuentra una varilla que transmite el movimiento de giro a un transmisor exterior al estanque.

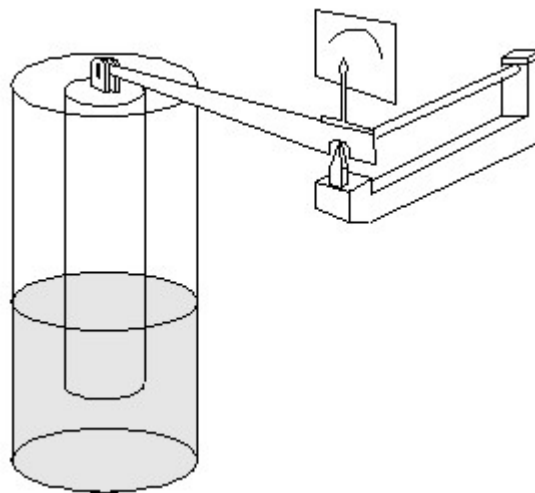
El tubo de torsión se caracteriza fundamentalmente porque el ángulo de rotación de su extremo libre es directamente proporcional a la fuerza aplicada.

Al aumentar el nivel, el líquido ejerce un empuje sobre el flotador igual al volumen de la parte sumergida multiplicada por la densidad del líquido, tendiendo a neutralizar su peso propio, así que el esfuerzo medido por el tubo de torsión será muy pequeño. Por el contrario, al bajar el nivel, menor parte del flotador queda sumergida, y la fuerza de empuje hacia arriba disminuye, resultando una mayor torsión.

La precisión es del orden de  $\pm 0,5 \%$  a  $\pm 1 \%$  y el intervalo de medida puede variar de 0-300 a 0-2000 mm.

El instrumento puede utilizarse en estanques abiertos y cerrados a presión o a vacío, tiene una buena sensibilidad pero presenta el inconveniente del riesgo de depósitos de sólidos o de crecimiento de cristales en el flotador que afectan a la precisión de la medida y es apto sólo para la medida de pequeñas diferencias de nivel (2000 mm máximo estándar).

Figura 19. Medidor de Nivel tipo Desplazamiento.



## **INSTRUMENTOS BASADOS EN CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL LÍQUIDO**

**El medidor de nivel conductivo o resistivo:** Consiste en uno o varios electrodos y un relé eléctrico o electrónico que es excitado cuando el líquido moja a dichos electrodos. El líquido debe ser lo suficientemente conductor como para excitar el

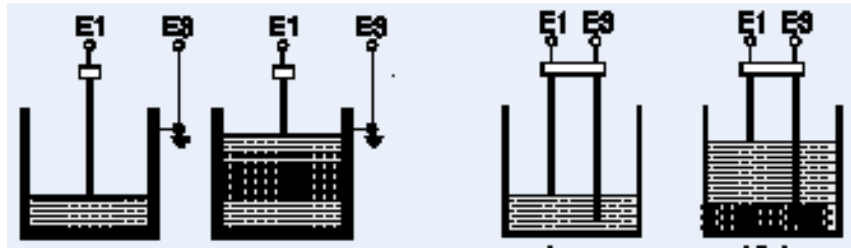
circuito electrónico, y de este modo el aparato puede discriminar la separación entre el líquido y su vapor, tal como ocurre, por ejemplo, en el nivel de agua de una caldera de vapor. La impedancia mínima es del orden de los 20 MΩ/cm, y la tensión de alimentación es alterna para evitar fenómenos de oxidación en las sondas por causa del fenómeno de la electrólisis. Cuando el líquido moja los electrodos se cierra el circuito electrónico y circula una corriente segura del orden de los 2 mA; el relé electrónico dispone de un temporizador de retardo que impide su enclavamiento ante una ola del nivel del líquido o ante cualquier perturbación momentánea o bien en su lugar se disponen dos electrodos poco separados enclavados eléctricamente en el circuito.

El instrumento se emplea como alarma o control de nivel alto y bajo, utiliza relés eléctricos para líquidos con buena conductividad y relés electrónicos para líquidos con baja conductividad. Montado en grupos verticales de 24 o más electrodos, puede complementar los típicos niveles de vidrio de las calderas, y se presta a la transmisión del nivel a la sala de control y a la adición de las alarmas correspondientes.

El instrumento es versátil, sin partes móviles, su campo de medida es grande con la limitación física de la longitud de los electrodos. El líquido contenido en el estanque debe tener un mínimo de conductividad y si su naturaleza lo exige, la corriente debe ser baja para evitar la deterioración del producto. Por otro lado, conviene que la sensibilidad del aparato sea ajustable para detectar la presencia de espuma en caso necesario.



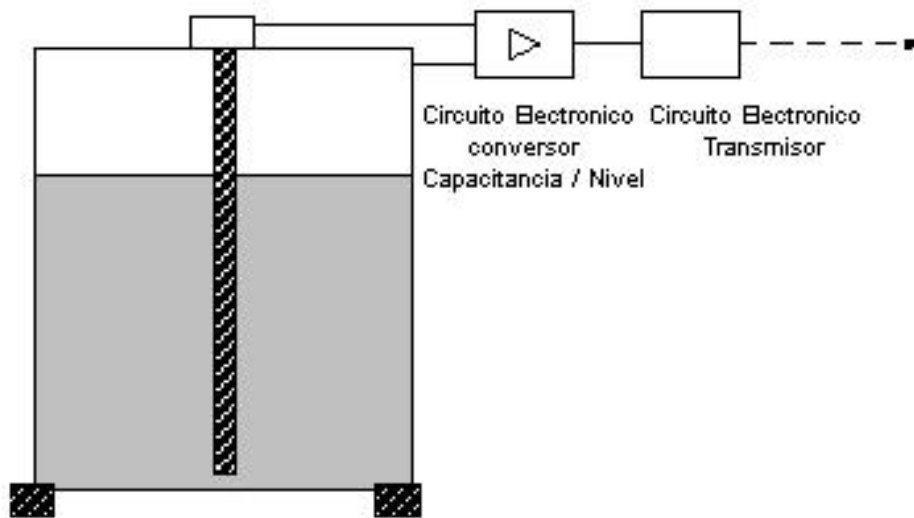
Figura 20. Medidor de Nivel Conductivo.



**Medidor de nivel capacitivo:** Mide la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del estanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido. En fluidos no conductores se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores. En fluidos conductores el electrodo está aislado usualmente con teflón interviniendo las capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona del líquido y del gas. La precisión de los transductores de capacidad es de  $\pm 1\%$ .

Se caracterizan por no tener partes móviles, son ligeros, presentan una buena resistencia a la corrosión y son de fácil limpieza. Su campo de medida es prácticamente ilimitado. Tiene el inconveniente de que la temperatura puede afectar las constantes dieléctricas (0,1 % de aumento de la constante dieléctrica / °C) y de que los posibles contaminantes contenidos en el líquido puedan adherirse al electrodo variando su capacidad y falseando la lectura, en particular en el caso de líquidos conductores.

Figura 21. Medidor de Nivel Capacitivo.

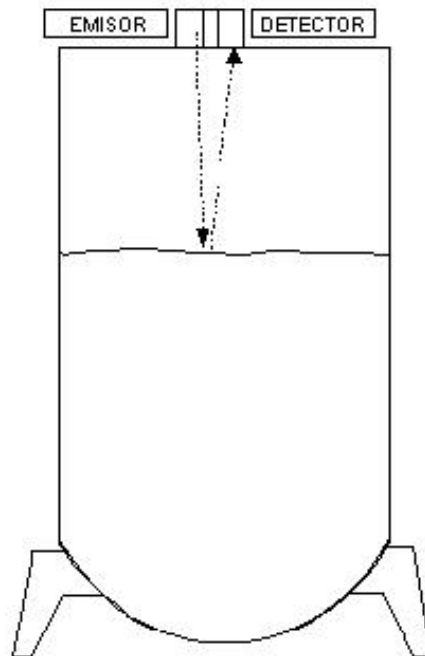


**Medidor de nivel ultrasónico:** Se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del estanque. Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20 KHz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente de gases o vapores y se reflejan en la superficie del sólido o del líquido.

La precisión de estos instrumentos es de  $\pm 1$  a 3 %. Son adecuados para todos los tipos de estanques y de líquidos o fangos pudiendo construirse a prueba de explosión. Presentan el inconveniente de ser sensibles a la densidad de los fluidos y de dar señales erróneas cuando la superficie del nivel del líquido no es nítida como es el caso de un líquido que forme espuma, ya que se producen falsos ecos de los ultrasonidos.

La utilización de la computadora permite, a través de un programa, almacenar el perfil ultrasónico del nivel, y así tener en cuenta las características particulares de la superficie del líquido, tal como la espuma, con lo cual se mejora la precisión de la medida.

Figura 22. Medidor de Nivel Ultrasónico.



**El sistema de medición de nivel radiactivo:** Consiste en un emisor de rayos gamma montado verticalmente en un lado del estanque y con un contador que transforma la radiación gamma recibida en una señal eléctrica de corriente continua. Como la transmisión de los rayos es inversamente proporcional a la masa del líquido en el estanque, la radiación captada por el receptor es inversamente proporcional al nivel del líquido ya que el material absorbe parte de la energía emitida. Los rayos emitidos por la fuente son similares a los rayos X,

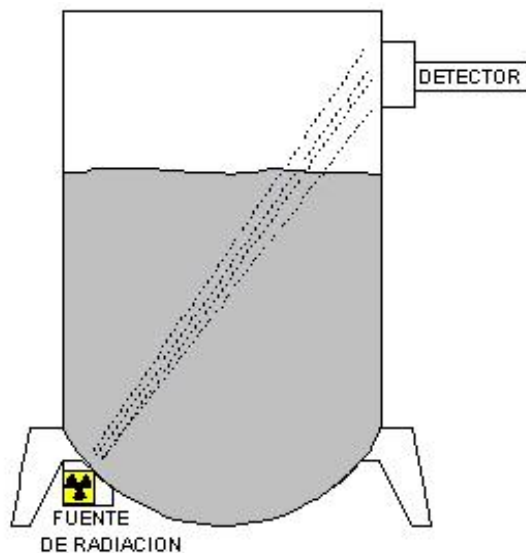
pero de longitud de onda más corta. La fuente radiactiva pierde igualmente su radiactividad en función exponencial del tiempo. La vida media (es decir, el tiempo necesario para que el emisor pierda la mitad de su actividad) varía según la fuente empleada. En el cobalto 60 es de 5,5 años y en el cesio 137 es de 33 años y en el americio 241 es de 458 años.

Las paredes del estanque absorben parte de la radiación y al detector llega sólo un pequeño porcentaje. Los detectores son, en general, detectores de cámara iónica y utilizan amplificadores de c.c. o de c.a. El instrumento dispone de compensación de temperatura, de linealización de la señal de salida, y de reajuste de la pérdida de actividad de la fuente de radiación. Como desventajas en su aplicación figuran el blindaje de la fuente y el cumplimiento de las leyes sobre protección de radiación. La precisión en la medida es de  $\pm 0,5$  a  $\pm 2$  %, y el instrumento puede emplearse para todo tipo de líquidos ya que no está en contacto con el proceso. Su lectura viene influida por el aire o los gases disueltos en el líquido.

El sistema se emplea en caso de medida de nivel en estanques de acceso difícil o peligroso. Es ventajoso cuando existen presiones elevadas en el interior del estanque que impiden el empleo de otros sistemas de medición. Hay que señalar que el sistema es caro y que la instalación no debe ofrecer peligro alguno de

contaminación radiactiva siendo necesario señalar debidamente las áreas donde están instalados los instrumentos y realizar inspecciones periódicas de seguridad.

Figura 23. Medidor de Nivel Radiactivo.



**Medidor de nivel Láser:** Se utiliza en aplicaciones donde las condiciones son muy duras, y donde los instrumentos de nivel convencionales fallan; tal es el caso de la medición de metal fundido, donde la medida del nivel debe realizarse sin contacto con el líquido y a la mayor distancia posible por existir unas condiciones de calor extremas. El sistema consiste en un rayo láser enviado a través de un tubo de acero y dirigido por reflexión en un espejo sobre la superficie del metal fundido. El aparato mide el tiempo que transcurre entre el impulso emitido y el impulso de retorno que es registrado en un fotodetector de alta resolución, y este tiempo es directamente proporcional a la distancia del aparato emisor a la distancia a la superficie del metal en fusión, es decir, da la lectura del nivel.

## 6.6.2 MEDIDORES DE NIVEL DE SÓLIDOS

En los procesos continuos, la industria ha ido exigiendo el desarrollo de instrumentos capaces de medir el nivel de sólidos en puntos fijos o de forma continua, en particular en los estanques destinados a contener materias primas o productos finales.

### MEDIDORES DE NIVEL DE PUNTO FIJO

**Medidor de Diafragma:** Consiste en una membrana flexible que puede entrar en contacto con el producto dentro del estanque y que contiene en su interior un conjunto de palancas con contrapeso que se apoyan sobre un interruptor. Cuando el nivel del sólido alcanza el diafragma lo fuerza venciendo el contrapeso y actuando sobre el interruptor; éste que puede ser mecánico o de mercurio y puede accionar una alarma. El material del diafragma puede ser de tela, goma, neopreno o fibra de vidrio. Este sensor tiene la ventaja de ser de bajo costo, con una precisión de  $\pm 50$  mm.

**Varilla flexible:** Consiste en una varilla de acero conectada a un diafragma de latón donde está contenido un interruptor. Cuando los sólidos presionan, aunque sólo sea ligeramente en la varilla, el interruptor se cierra y actúa sobre una alarma.

El conjunto de la unidad está sellado herméticamente pudiendo construirse a prueba de explosión. El aparato se emplea como alarma de alto nivel estando dispuesto en la parte superior del estanque. Para impedir que la simple caída del producto pueda causar una alarma infundada, incorpora un relé de retardo.

El instrumento se emplea en estanques abiertos como alarmas de nivel alto, tiene una precisión de  $\pm 25$  mm, se utiliza para materiales tales como carbón y puede trabajar hasta temperaturas máximas de 300 °C.

**Paletas rotativas:** Consiste en un eje vertical, dotado de paletas, que giran continuamente a baja velocidad accionado por un motor. Cuando el producto sólido llega hasta las paletas, las inmoviliza, con lo que el soporte del motor y la caja de engranajes empiezan a girar en sentido contrario.

En su giro, el soporte del motor actúa consecutivamente sobre dos interruptores, el primero excita el equipo de protección (por ejemplo, una alarma) y el segundo desconecta la alimentación eléctrica del motor con lo cual éste queda bloqueado. Cuando el producto baja de nivel y deja las palas al descubierto, un resorte vuelve el motor a su posición inicial liberando los dos interruptores. De este modo, el motor se excita con lo que las palas vuelven a girar, y la alarma queda desconectada. Estos instrumentos tienen una precisión de unos 25 mm y se emplean preferentemente como detectores de nivel de materiales granulares y

carbón. Pueden trabajar con materiales de muy diversa densidad y existen modelos a prueba de explosión.

## **MEDIDOR DE NIVEL CONTINUOS**

**Medidor de nivel de sondeo electromecánico ó de peso:** Consiste en un pequeño peso móvil sostenido por un cable desde la parte superior del silo mediante poleas. Éste baja suavemente en el interior de la tolva hasta que choca contra el lecho de sólidos. En este instante, el cable se afloja, y un detector adecuado invierte el sentido del movimiento del peso con lo que éste asciende hasta la parte superior de la tolva, donde se para, repitiéndose el ciclo nuevamente. Un indicador exterior señala el punto donde el peso ha invertido su movimiento indicando así el nivel en aquel momento. El instrumento se caracteriza por su sencillez, puede emplearse en el control de nivel, pero debe ser muy robusto mecánicamente para evitar una posible rotura del conjunto dentro de la tolva lo que podría dar lugar a la posible rotura de los mecanismos de vaciado.

### **6.7 SISTEMA SCADA/ HMI**

Un sistema HMI (Human Machine Interface) es el interfaz de unión entre el operario y la máquina. Puede ser un panel de operador o una computadora (PC),



pero en ambos casos comunican y transmiten datos a y desde un PLC o una tarjeta de adquisición de datos.

En el caso de un Panel de Operador, este se compone de una pantalla con más o menos resolución de gráficos y teclas numéricas y de función o como en algunos casos pantalla táctil. La pantalla puede ser en color o monocromo e indica el estado de los diferentes valores del proceso, con gráficos complejos o figuras sencillas permitiendo a su vez introducir valores para ajustar los parámetros de regulación del proceso o consignas del mismo. Se programan con un software propio, al igual que los PLCs, y diferente a estos aunque sean del mismo fabricante. Comunican con el PLC a través de un puerto de comunicación, que varía de unos a otros, pero siendo lo más frecuente una comunicación RS232 a 19.2 Kbaudios. Generalmente el frontal suele ser de un material plástico o similar con un alto grado de protección, IP65 o NEMA 12, ya que está expuesto a la intemperie o al ambiente agresivo del lugar de trabajo. Entre las funciones que pueden desarrollar estos paneles de operador están las siguientes:

- Visualizar y parametrizar datos del proceso (lectura y escritura de variables)
- Gestión de alarmas del proceso, con textos de ayuda al operario para la resolución de las mismas
- Recopilación de alarmas sucedidas en el tiempo (histórico de alarmas)
- Impresión de las citadas alarmas

En el caso de una computadora (PC), esta es la encargada de comunicar con el PLC o también puede ser una tarjeta de adquisición de datos. Realiza las mismas funciones que un panel de operador y además puede trabajar como sistema SCADA (adquisición de datos) y con los nuevos controles disponibles e integrados en los sistemas operativos (Windows XP/NT) se puede hacer por ejemplo que ante una alarma del sistema el PC marque un número telefónico o mande un mensaje a un móvil con un texto asociado al operario o personal de mantenimiento correspondiente. Para que un PC normal sea convertido a un PC SCADA-HMI son necesarios los siguientes elementos:

**Software SCADA:** Es el programa de software que se instala en el PC y que hace trabajar al mismo como un sistema SCADA-HMI. Puede ser del mismo fabricante que el PLC o diferente.

**Tarjeta de comunicación PC-PLC:** La suministra normalmente el fabricante del PLC o el del software SCADA-MMI. Se coloca en un bus libre, ISA o PCI del PC y se configura con un software propio y diferente al del SCADA.

**Driver de comunicación:** Es el "traductor" entre el sistema SCADA-MMI y el PLC. El driver de comunicación es un programa de software diferente al del SCADA y hace que el PC y el PLC se "entiendan" a través de la tarjeta de comunicación PC-PLC. Básicamente el programa SCADA crea una base de datos

con los parámetros del proceso (TAGS) y el driver es el encargado de leer y escribir estos datos en el PLC. En este caso es sumamente recomendable utilizar tarjetas de comunicación del mismo fabricante que el PLC para evitar problemas de comunicación o evitar el eludir responsabilidades por parte de los fabricantes, ya que según ellos su equipo siempre trabaja perfectamente.

No hay ninguna regla para la elección de los PCs a la hora de instalar un sistema SCADA, pero si hay que insistir siempre con el fabricante en la compatibilidad del mismo con el software a instalar y sobre todo las tarjetas de comunicación, que algunas de ellas no son Plug&Play y crean conflicto con el sistema Plug&Play del PC a la hora de reservarse espacio en memoria para su funcionamiento (conflicto con los IRQs). Un sistema SCADA basado en PC tiene la ventaja de guardar en disco los parámetros deseados para utilizarlos posteriormente en análisis estadísticos. Con los nuevos sistemas de comunicación (ETHERNET) y los protocolos asociados puede además monitorearse el sistema desde cualquier lugar de una red o incluso desde casa a través de un módem. Ambos sistemas, Panel de Operados y PC pueden asociarse haciendo un sistema sumamente completo.

## 7. METODOLOGÍA

A continuación se describen las etapas que comprende el desarrollo de la metodología para llevar a cabo el Sistema Supervisorio de flujo y nivel por PC para la Industria Licorera del Cauca:

**Etapas 1:** Fase de Análisis y Recolección de la Información.

En esta etapa del proyecto se recolectará la información tecnológica sobre el mismo como: Monitoreo y control automático de procesos, Transmisores empleados en automática, Sensores, Adecuación de señales, Sistema Supervisorio por Computador y Software de Aplicación Industrial. También se hará un estudio de la dinámica de los tanques y tuberías en donde se va a implementar el sistema de monitoreo y en general del funcionamiento de los procesos industriales que se manejan en la fabrica.

**Etapas 2:** Fase de Análisis y Estudio de la Información.

Esta es una etapa decisiva del proyecto en la cual se analizará toda la información obtenida y se decidirá cual va a ser utilizada para el desarrollo del proyecto. Aquí se tomaran decisiones particulares sobre como se va a desarrollar el proyecto: Se

elaborará un conjunto de propuestas solución y con ayuda de las personas involucradas en el proyecto se decidirá la solución más viable teniendo en cuenta el tiempo y los recursos disponibles; Se escogerán los sensores y transmisores electrónicos necesarios para la implementación del sistema, además del software que se utilizará para la interfaz entre el usuario y el sistema supervisorio.

**Etapa 3:** Fase de Implementación y prueba.

Después de decidir cuales son los dispositivos más adecuados para la solución del problema, se inicia la implementación del proyecto. Esta etapa es el resultado de la investigación y análisis de la información obtenida, cuando se inicie esta fase se tendrán todos los componentes necesarios para el montaje del sistema, además se implementará el software de interfaz, una vez montado el sistema y el software que permita monitorearlo por medio de un computador, se harán pruebas de ensayo y error con el fin de conseguir un funcionamiento óptimo del sistema en la industria.

**Etapa 4:** Fase de Documentación.

Aquí se realizará el informe final, documento en el que se recopila la información pertinente como resultado de todas las etapas anteriormente descritas, también se incluyen las conclusiones de los logros alcanzados a lo largo del desarrollo del proyecto.

## 8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 1. Cronograma de Actividades.

Nro.	<i>Semana</i>	1	2	3	4	5	6	7
1	Recopilación de Información Bibliográfica acerca de: Flujo de Fluidos, Medida de Caudal, Medida de Nivel, Sensores, Válvulas, Dispositivos electrónicos, Tarjetas de adquisición de datos, Software SCADA.							
2	Presentación con los trabajadores del área de producción y preparación de aguardiente, reconocimiento del sitio de trabajo y diagnóstico preliminar.							
3	Registro general del proceso de producción.							
4	Situación de la zona actual de preparación de aguardiente en la I.L.C, Descripción del Proceso de preparación de Aguardiente.							
5	Determinación de la presión de la bomba impulsora de alcohol, caudal promedio, y viscosidad y densidad del alcohol utilizado en la preparación del aguardiente. Determinación del número de Reynolds.							
6	Medición de la capacidad y capacitancia de los tanques de preparación de aguardiente.							
7	Análisis del proceso de preparación de aguardiente.							

Continuación Tabla1. Cronograma de Actividades.

<b>Nro.</b>	<b>Semana</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
8	Curso básico del Software SCADA iFIX 3.0 de GE FANUC Intellution.					
9	Escogencia de los Dispositivos Electrónicos, válvulas y accesorios necesarios para la implementación del sistema.					
10	Curso sobre la norma NTC ISO 9001:2000. Necesidad de la I.L.C de mejorar sus procesos.					
11	5to. Congreso Nacional de Automática. Artículo Publicado " <i>Estudio de un Proyecto de Instrumentación para la Industria Licorera del Cauca</i> ",					
12	Elaboración de Informe Parcial de Pasantía.					
<b>Nro.</b>	<b>Semana</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>
13	Curso Avanzado del Software SCADA iFIX 3.0 de GE FANUC Intellution.					
14	Seminario " <i>4to Encuentro de Investigación sobre Tecnologías de Información Aplicada a la Solución de Problemas EITI - 2003</i> ". Artículo Publicado: " <i>Estudio de un Proyecto de Instrumentación Industrial para la Industria Licorera del Cauca</i> ".					
15	Implementación de los Instrumentos para medida de Flujo y Nivel.					
16	Implementación del Sistema Supervisorio en el PC.					
17	Elaboración de Informe Final de Pasantía.					

## **9. RESEÑA HISTÓRICA DE LA INDUSTRIA LICORERA DEL CAUCA**

Por medio del decreto 340 del primero de mayo de 1910, se creó el actual departamento del Cauca y a esta fecha se remontan las primeras fábricas de licores que existieron en el Cauca, las cuales estuvieron ubicadas en Popayán, Bolívar, Cajibío, Tierradentro y Corinto.

En 1915 la fábrica de Japío produjo el aguardiente para el departamento, y se montaron tres columnas de destilación de diseño y construcción francesa. En Guapi existió una fábrica de licores en 1917 la cual trabajó hasta 1932. Otra de las fábricas funcionó en el edificio que habitaran las madres franciscanas hoy Biblioteca de la Universidad del Cauca.

En 1965 con el fin de ubicar la producción se trasladaron los equipos y enseres de Japío a Popayán y por ordenanza 26 del 28 de diciembre de 1972 quedó la Industria Licorera del Cauca como empresa descentralizada y vinculada a la secretaría de Hacienda del Departamento de calidad de Entidad Industrial y Comercial, con personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonio independiente.



Actualmente su estructura orgánica esta dada así: Junta directiva presidida por el Señor Gobernador, Secretario de Hacienda, Jefe de Planeación Departamental, Gerencia, Divisiones, Secciones y Grupos.

Durante 15 años la Industria Licorera del Cauca llevo a cabo el proceso de preparación de aguardiente desde la preparación del mosto y el cultivo de la levadura utilizando para ello tanques de fermentación donde se cultivaba la levadura; y se contaban con las columnas de rectificación y destilación de alcohol. Se trabajan las 24 horas del día en turnos seis horas. En cada turno trabajan cinco personas cada uno con una tarea específica: un destilador encargado de la columnas de destilación, un calderista encargado de manejar la caldera para los requerimientos de vapor, un preparador encargado del manejo del mosto y su grado Brix y un Jefe de turno encargado del control de todo el proceso de producción y de la elaboración de los reportes.

El proceso de preparación de aguardiente era por baches debido a dificultades económicas que no permitían un suministro constante de materia prima lo que obligaba en repetidas oportunidades a parar el proceso incrementando los costos de una manera insostenible. Sumando a los elevados costos de producción se presentaron problemas con la Corporación Regional del Valle entidad encargada de controlar el impacto ambiental generado por los procesos industriales el cual exigió a la Industria Licorera del Cauca disminuir la carga contaminante de sus aguas residuales, mediante la instalación de un reactor anaerobio UASB. Dado el

elevado costo del reactor y al no contar con un espacio adecuado para ubicarla, la Industria Licorera del Cauca trabajó con una planta piloto para la disminución de la carga contaminante durante dos años sin embargo, la Corporación fijó como requerimiento la construcción del reactor UASB a escala industrial hecho que concluyó en el paro total de los equipos.

Para esta época ya se habían realizado ofrecimientos por parte de empresas del Ecuador de suministrar el alcohol y aunque la calidad de éste no era el óptimo mediante análisis de costos se concluyó que era más rentable comprar el alcohol pese a la necesidad de rectificarlo en la empresa. Sin embargo un hecho que hace que la empresa busque otras alternativas es que hasta la fecha no se contaba una autorización para realizar el proceso de rectificación ya que la Industria se encuentra ubicada en el centro histórico de la ciudad es por ello que la Industria Licorera del Cauca optó por analizar el costo adicional que implicaba la importación de alcohol con mejores características de calidad de manera que fuera óptimo para la preparación directa del aguardiente lo que arrojó resultados satisfactorios y por ello se decidió la importación de este tipo de alcohol.

Con el fin de ampliar y modernizar en envasado, en 1991 se contrato con la firma SIA la adquisición y puesta en marcha de una sopladora, una embotelladora, una corchadora, una etiquetadora y sus rieles de conducción con una capacidad de 6.000 unidades hora. Actualmente, la Industria Licorera del Cauca abrió una licitación pública para adquirir una nueva línea de envasado automática, además de iniciar el proceso de Certificación NTC- ISO 9001:2000.

## **MISIÓN**

Producir y comercializar licores de calidad para satisfacer a nuestros clientes y consumidores generando recursos dirigidos a la salud, educación, cultura y recreación que contribuyan al desarrollo y bienestar de la comunidad con el apoyo y compromiso de su equipo humano.

## **VISIÓN**

Ampliar y fortalecer al año 2008 el mercado interno y externo a través del desarrollo competitivo de nuestros productos, con personal competente y tecnología apropiada para satisfacer las necesidades y expectativas de nuestros clientes y consumidores.

## **POLITICA DE CALIDAD**

Producir y comercializar licores de calidad que satisfagan las necesidades y expectativas de nuestros clientes, mediante la participación de personal calificado y comprometido que facilite las relaciones comerciales, el cumplimiento de las normas, la preservación del medio ambiente y el mejoramiento continuo de los procesos para el crecimiento y rentabilidad esperada por el departamento.

## **10. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ZONA DE PREPARACIÓN DE AGUARDIENTE DE LA INDUSTRIA LICORERA DEL CAUCA**

La zona de preparación de aguardiente se divide en dos áreas principalmente. La primera, localizada en el primer piso de la edificación donde se ubican los 13 tanques de aguardiente filtrado, los cuatro tanques de reposo y el filtroprensa. Los tanques de aguardiente filtrado como su nombre lo indica, almacenan el aguardiente luego de que éste se somete al proceso de filtración, los tanques están designados con números de 1 a 10 y con letras A,B,C,... para llevar el control de inventario. Cada uno cuenta con una capacidad de 1700 litros.

Los tanques de reposo almacenan el aguardiente que va a ser filtrado y éstos se encuentran numerados del uno al cuatro. La capacidad de cada uno de ellos es de 2600 litros. El material de los tanques de reposo de aguardiente es de madera de roble pero por recomendaciones de la dirección de Salud del Cauca, estos están siendo remplazados por tanques en acero inoxidable. Finalmente, tenemos en este piso, ubicado el filtroprensa, equipo en acero inoxidable que trabaja con 40 filtros de celulosa prensados entre placas de acero inoxidable y trabaja a una presión de 10K a 40K pascales, presión adecuada para lograr el flujo del aguardiente a filtrar, realizándose el proceso de eliminación de impurezas o residuos sólidos que puedan venir en el producto terminado.

Por ultimo en el segundo piso se encuentra la segunda área, donde están los dos tanques de preparación en acero inoxidable, cada una con capacidad para 5200 litros y las diferentes tuberías y llaves que permiten el paso de agua, alcohol y esencias para la preparación del aguardiente.

Figura 24. Tanque de Preparación.



En esta área también se ubica el tablero de control manual para el encendido y apagado de la bomba de agua y de la bomba de alcohol, así como de los controles manuales de los agitadores. En cada tanque de preparación, el operario dispone de un termómetro de columna de mercurio, un alcoholímetro y dos

envases para toma de muestras, utilizados para tomar la temperatura y grado de alcohol del aguardiente preparado.

Figura 25. Cuadro de Controles.



En el tercer piso de la edificación se ubica el cuarto de esencias, es allí donde el Jefe de Producción prepara la cantidad de esencia a utilizar y el volumen del clarificador para adicionar a la mezcla presente en los tanques.

La anterior disposición de controles, tanques y demás elementos, obligan el permanente traslado de una zona a otra de los operarios en el momento de la preparación del aguardiente y a la obligatoria intervención del jefe de producción en este proceso.

## 11. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE AGUARDIENTE

### 11.1 DEFINICIONES

**Tanque de preparación:** lugar donde se realiza la mezcla de alcohol, agua y esencias para la elaboración del aguardiente. Son dos tanques A y B.

**Tanque de reposo:** lugar donde se almacena el aguardiente antes de su filtración.

**Tanque de aguardiente filtrado:** lugar donde se almacena el aguardiente ya filtrado y listo para ser envasado.

**Tanques de alcohol:** son los tanques de los cuales se va a bombear el alcohol a utilizarse en la preparación.

**Clarificador:** aditivo que proporciona brillo al aguardiente.

**Contador de alcohol:** dispositivo mecánico que indica la cantidad de alcohol bombeada desde los tanques de alcohol hasta la zona de preparación.

**Zona de preparación:** lugar donde se lleva a cabo la preparación y filtración del aguardiente.

**Zona de alcoholes:** lugar donde se encuentran los tanques de almacenamiento de alcohol y el contador de alcohol.

## 11.2 PROCEDIMIENTO

Hay que tener en cuenta que todas las operaciones descritas aquí son realizadas por el operario en forma manual.

Primero el operario cierra las válvulas de salida de los tanques de preparación manualmente para evitar que el contenido de estas pase directamente a los tanques de reposo, después introduce una regla graduada de madera por la parte superior de los tanques para obtener la altura del líquido aun contenido en ellos y anota en el registro de preparación. Posteriormente abre la válvula de paso de alcohol hacia el tanque A y la válvula de paso de agua del tanque B y prende la bomba de agua, se dirige a la zona de alcoholes y toma la lectura inicial del contador, abre la válvula general de alcohol y prende la bomba de alcohol, este flujo es enviado hacia el tanque de preparación A, él regresa a la zona de preparación y verifica el nivel de agua del tanque B hasta que alcance el nivel deseado para poder apagar la bomba de agua, simultáneamente verifica el nivel



del tanque A hasta que alcance el nivel de alcohol deseado para poder apagar la bomba de alcohol.

Una vez se han alcanzado los niveles deseados en ambos tanques, se continúa con el anterior procedimiento, solo que invierte la disposición de los tanques y una vez se alcancen de nuevo los valores deseados de agua y alcohol, se prende el agitador (hélice girando dentro del tanque) de cada tanque. El propósito de agitar la mezcla de alcohol y agua es lograr su homogeneización y prepararla para su combinación con la esencia. En este proceso se genera el desprendimiento de vapores alcohólicos y calor (proceso exotérmico). En esta etapa el operario espera que el jefe de producción prepare y envíe la esencia por la tubería, cuando esta llega a los tanques A y B el operario espera un tiempo agitación adicional, agrega el clarificador y apaga los motores de los agitadores.

Con el producto ya preparado, finalmente se mide la temperatura y nivel del aguardiente en los tanques A y B, para determinar el volumen y grado alcohólico del aguardiente preparado. Se toman muestras de ambos tanques y se llevan al laboratorio de control de calidad para confirmar su grado alcohólico y pureza.

### **11.3 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO**

A continuación se realiza una descripción del producto, y términos generales se nombran los materiales que se emplean para el envase y embalaje del

aguardiente caucano. El cartón que se utiliza en el embalaje del aguardiente es cartón craft, el envase es color flint y es adquirido a PELDAR, la tapa que se emplea es de aluminio Temple H-14 y la etiqueta es de papel propacolte.

Figura 26. Fotografía del Producto en sus tres presentaciones.



La anterior fotografía muestra el producto final (Aguardiente Caucano) en sus tres presentaciones, media (375 cc), botellita (750 cc) y garrafa (1500 cc), además de una muestra miniatura.

Tabla 2. Características del Aguardiente.

<b>Característica</b>	<b>Parámetro</b>
Clase de licor	Anisado
Grado alcohólico	29°GL
Color	Cristalino e incoloro
Olor y sabor	Mezcla de anis
Ingredientes	Agua, alcohol y esencias
Presentación	Unidades de 375 cc, 750 cc y 1500 cc.
Embalaje	Cajas de botella (375 cc) 24 Unidades Cajas de botella (750 cc) 12 Unidades Cajas de botella (1500 c) 6 Unidades

Para la elaboración del aguardiente se adquiere alcohol extra neutro, la Industria Licorera del Cauca exige estos parámetros:

Tabla 3. Características del alcohol.

<b>Característica</b>	<b>Parámetro</b>
Grado de Alcohol a 20°C	96° GL
Acidez	5 ppm máx.
Metanol	No detectable
Total impurezas	32.5 ppm
Organoléptico	Bueno

## **12. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA MEDICIÓN DE FLUJO DE ALCOHOL**

La Industria Licorera del Cauca impulsa desde la zona de alcoholes hacia la zona de preparación de aguardiente, situada una distancia de aproximadamente 170 metros, el alcohol por medio de una bomba y un sistema de tuberías en acero inoxidable 316 de sección circular de 2 pulgadas de diámetro. Al disponer solamente de válvulas de bola instaladas en el sistema de tuberías, completamente manuales y al tener constantes estancamientos e inversión del flujo de alcohol debido al tendido del sistema de tuberías, la presión de la bomba impulsora de alcohol tiene un papel importante en la medición del flujo, ya que esta determina el caudal de alcohol impulsado hacia la zona de preparación de aguardiente.

Por medio de experimentos realizados, se determinó que la presión de la bomba impulsadora de alcohol en condiciones de trabajo normales, es decir sin cerrar abruptamente las válvulas que desvían el alcohol hacia cualquiera de los dos tanques de preparación de aguardiente, es de 15 psi. Cuando las válvulas de paso de alcohol hacia los tanques de preparación se cierran, dando paso al flujo de alcohol hacia el cuarto de esencias se experimentó la presión máxima de la bomba, siendo esta de 40 psi.

Además para determinar el número de Reynolds, parámetro para establecer la naturaleza del flujo (laminar o turbulento) se realizaron pruebas de viscosidad cinemática y densidad en los Laboratorios de la Universidad del Cauca, ya que la Industria licorera del Cauca no dispone de los instrumentos de laboratorio necesarios para la medición de estos parámetros, en el laboratorio de Control de Calidad de la empresa. Las pruebas del caudal promedio de alcohol se efectuaron en la fabrica con ayuda de un Contador mecánico de alcohol, similar al utilizado por las estaciones de gasolina y un cronometro.

Tabla 4. Parámetros utilizados para la medición de Flujo de Alcohol.

<b>Parámetro</b>	<b>Medida</b>
Temperatura promedio del Alcohol a condiciones de operación.	20 °C +- 5°
Viscosidad cinemática ( $\nu$ ) a 20 °C	1.54 Centistokes = $1.54 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg}$
Densidad del alcohol a 20 °C	$0.806 \text{ gr/cm}^3 = 806 \text{ Kg/m}^3$
Viscosidad dinámica ( $\mu$ ) a 20 °C	1.24 Centipoises
Caudal promedio de alcohol a condiciones normales de operación.	200 Litros/min = $3.33 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$
Diámetro interno de la sección transversal de la tubería	2 in = 0.0508 m = 50.8 mm
Area de la sección transversal de la tubería.	$2.026 * 10^{-3} \text{ m}^2 = 3.141 \text{ in}^2$
Velocidad media de Flujo de alcohol a condiciones normales.	1.64 m/s
Número de Reynolds	54098

Los resultados anteriores confirman que el flujo de alcohol esta dentro del régimen turbulento.

## 13. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA MEDICIÓN DE NIVEL DE AGUARDIENTE

En esta sección se determino algunos parámetros importantes para la medición de nivel de aguardiente en los tanques de preparación de la Industria Licorera del Cauca como son: densidad del aguardiente, capacidad y capacitancia de los tanques de preparación.

### 13.1 DEFINICIONES

**Capacidad:** Medida de la máxima cantidad de energía o material que puede almacenarse dentro del recinto de un equipo.

**Capacitancia:** Es una medida de las características propias del proceso para medir o transferir una cantidad de energía o de material con relación a una cantidad unitaria de alguna variable de referencia. En un proceso, una capacitancia relativamente grande es favorable para mantener constante la variable controlada a pesar de los cambios en la carga que pueden presentarse. Sin embargo, esta misma característica hace que sea más difícil cambiar la variable a un nuevo valor, e introduce un retardo importante entre una variación de un fluido de control y el nuevo valor que toma la variable controlada.

Tabla 5. Parámetros que influyen en la Medida de Nivel De Aguardiente.

<b><i>Parámetro</i></b>	<b><i>Medida</i></b>
Densidad del aguardiente caucano a 22° C	1.02 gm/cm <sup>3</sup>
Altura de los Tanques de preparación de aguardiente.	2.73 m
Diámetro de los Tanques de preparación de aguardiente.	1.69 m
Capacidad de los Tanques de preparación de aguardiente.	6.12386 m <sup>3</sup> = 6123.86 Lts
Capacitancia de los Tanques de preparación de aguardiente.	2.2431 m <sup>3</sup> / m.nivel

#### **14. ANÁLISIS DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE AGUARDIENTE**

La verificación del nivel se realiza mediante la observación directa del operario, sin embargo esta medición no es confiable y los valores que se muestran no representan de manera exacta el volumen contenido en cada tanque de almacenamiento, esto no tiene mayor incidencia en la calidad del producto ya que se cuentan con instrumentos que miden el grado de alcohol del aguardiente, pero si representa un desperdicio de insumos en la medida, ya que se puede estar empleando mayor cantidad de agua y alcohol de la necesaria con el consiguiente aumento del precio en el producto final. Un estudio realizado en la División de Producción de la industria demuestra que las perdidas por no disponer de instrumentos para medir eficazmente el flujo de alcohol utilizado durante el proceso de preparación de aguardiente ascienden a un costo de \$ 12'000.000 de pesos anuales.

En la medición del nivel se tiene el inconveniente de la turbulencia generada por el agitador, que gira a 1725 rpm, haciendo aun más difícil registrar la medida, además de que en los tanques las llaves de entrada de los insumos a mezclar para la preparación, se encuentran en la parte superior, creando aun más vibración de la obtenida por los agitadores.



Para implementar un manual de calidad del producto, además de tener un monitoreo del flujo y nivel de los insumos empleados en la preparación del aguardiente se necesitan medidores de grado alcohólico digitales, ya que con los instrumentos que se cuentan al ser de tipo analógico, el operario puede incluir en errores de paralaje al tomar la medida.

En la medición de flujo de alcohol, el operario dispone de un medidor de flujo mecánico, similar al que utilizan las estaciones de gasolina. Sin embargo, este medidor se encuentra en la zona de alcoholes a 170 metros de la zona de preparación de aguardiente, por lo que se hace necesario instalar un medidor de flujo en la zona de preparación de aguardiente, al ser un flujo turbulento y para evitar las inversiones de flujo debidas a los cambios de dirección en el sistema de tuberías se propone instalar una válvula de retención (check), que impiden el flujo inverso en el sistema de tuberías. Son de funcionamiento automático y se mantienen abiertas por la presión del fluido que circula, el cierre se logra mediante el peso del mecanismo de retención o por la contrapresión cuando se invierte el flujo.

## **15. NECESIDAD DE LA INDUSTRIA LICORERA DEL CAUCA PARA MEJORAR SUS PROCESOS**

La Industria Licorera del Cauca inicio el proceso de certificación de la norma NTC-ISO 9001:2000, dentro de la cual se contempla la medición, análisis y mejora del sistema de gestión de la calidad. Para esto, se hace necesario la medición de los procesos para realizar su análisis y mejora, al no disponer de instrumentos adecuados para la medición de las diferentes variables involucradas en el proceso de preparación de aguardiente, la Industria Licorera del Cauca debe adquirir equipos tecnológicos de vanguardia para demostrar la idoneidad y la eficacia del sistema de gestión de la calidad y para evaluar donde puede realizarse la mejora continua del sistema de gestión de la calidad. Esto debe incluir los datos generados del resultado de la medición de los diferentes procesos.

Actualmente la Industria Licorera del Cauca produce 292500 litros de aguardiente mensuales a un costo por mano de obra de \$ 3.963.483 (Ceballos, 2002).

De implantarse un sistema automático de supervisión y control, se lograría aumentar el volumen de producción en un 22.58% debido a que el tiempo de cada ciclo del proceso se reduce en igual porcentaje, el cual representa un

volumen de 358546 litros al mes con el mismo costo por mano de obra, esto ocasiona que el costo del producto final cargue con un porcentaje 22.58% menos con relación al rubro mano de obra.

Además del ahorro obtenido para esta Industria, se tendría una supervisión e inventario constante de los insumos utilizados en la preparación de aguardiente, así como mayor calidad del producto final, hecho que posibilita su competencia en otros mercados.

## 16. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA IMPLEMENTAR EL SISTEMA SUPERVISORIO DE FLUJO Y NIVEL POR PC

Para seleccionar los dispositivos electrónicos necesarios para la implementación del sistema, se muestran las señales que se desean supervisar:

Tabla 6. Señales a supervisar.

<b>Señal</b>	<b>Tipo de Señal</b>	<b>Unidad de Medida</b>
Flujo Volumétrico de Alcohol	Analógica	$\frac{Lts}{seg}$
Volumen de Aguardiente en tanque A	Analógica	Lts
Volumen de Aguardiente en tanque A	Analógica	Lts

**Flujo Volumétrico de Alcohol:** Según el análisis del proceso descrito, para medir esta variable, se hace necesario utilizar un transmisor de flujo inteligente, con totalizador, salida de 4 – 20 mA c.c. Se ofrecen distintos tipos de técnicas de medida para este transmisor, pero por ser de fácil instalación, precisión y costo se propone adquirir un transmisor inteligente de presión diferencial con placa de orificios en acero inoxidable 316 con tomas en la brida.

**Nivel de Aguardiente:** Según el análisis del proceso descrito, para medir esta variable, se hace necesario utilizar un transmisor de nivel inteligente, con

totalizador, salida de 4 – 20 mA c.c. Se ofrecen distintos tipos de técnicas de medida para este transmisor, pero por ser de fácil instalación, precisión y costo se propone adquirir un transmisor inteligente de presión diferencial para medición de nivel. Se descarta los medidores ultrasónicos, ya que debido a la turbulencia generada por los agitadores en los tanques, producirían un eco falso, dando una señal de medida errónea.

Debido al régimen turbulento del flujo se hace necesario instalar una válvula de retención (Check), para ser instalada en el sistema de tuberías antes del transmisor de flujo, para evitar la inversión del flujo de alcohol.

Además para recibir las señales de campo al PC, es decir, la señal de flujo de alcohol y las dos señales de nivel de aguardiente se necesita una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments, con por lo menos tres entradas analógicas, resolución de 12 bits y driver de comunicaciones OPC ya que el presupuesto es insuficiente para adquirir un PLC de última generación. Esta tarjeta entregará las señales de campo digitalizadas para ser llevadas al software SCADA. Se propone adquirir el software iFIX 3.5 de GE FANUC Intellution, por su versatilidad, fácil programación, soporte que brinda y confianza al ser utilizado en varias plantas de producción industrial en el país.

## 17. IMPLEMENTACIÓN DE LOS TRANSMISORES DE FLUJO Y NIVEL

El LD301 es un transmisor de presión inteligente para la medición diferencial, manométrica y absoluta de nivel y flujo. El transmisor se basa en un sensor capacitivo probado en el campo, que ofrece un funcionamiento seguro y alto rendimiento. La tecnología digital que se usa en el LD301 permite seleccionar varios tipos de unidades de medida, una fácil interfaz entre el campo y la sala de control y algunas características que reducen notablemente los costos de instalación, operación y mantenimiento.

Figura 27. Transmisor LD 301.



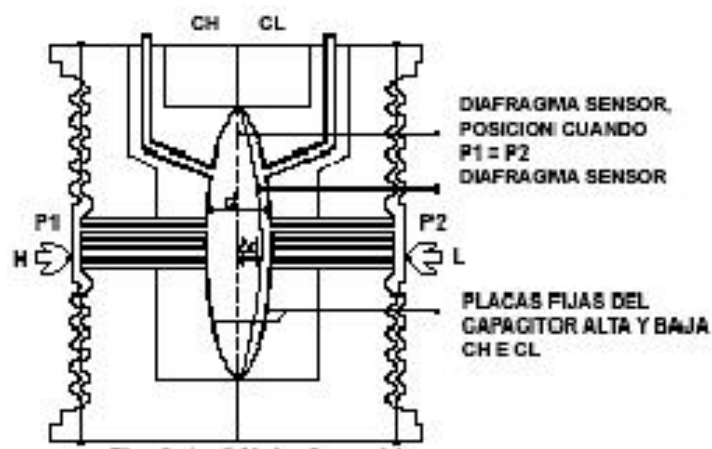
## 17.1 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL TRANSMISOR LD 301

El LD 301 está diseñado para aplicaciones de control de procesos industriales, existen dos cables de transmisión que entregan una señal de 4 – 20 mA proporcional a la presión diferencial aplicada al sensor. Esta señal puede ser transmitida a largas distancias (hasta 1 Km), la comunicación digital para calibración y monitoreo remoto del transmisor a través del protocolo Hart se hace con los mismos cables que llevan la señal de 4-20 mA. El transmisor consiste de dos partes principalmente: el sensor (una célula de variación capacitiva) y un circuito electrónico.

### 17.1.1 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL SENSOR

El diafragma sensor se deflecta como resultado de la diferencia entre la presión aplicada al lado izquierdo y derecho del sensor.

Figura 28. Célula Capacitiva.



Donde: P1 y P2 son las presiones en las cámaras H y L.

CH es la capacitancia entre la placa fija en el lado P1 y el diafragma sensor.

CL es la capacitancia entre la placa fija en el lado P2 y el diafragma sensor.

d es la distancia entre las placas fijas CH y CL.

$\Delta d$  es la deflexión del diafragma sensor debida a la presión diferencial  $DP = P1 -$

P2.

Sabiendo que la capacitancia de un condensador con placas planas y paralelas puede expresarse como una función de la placa del área (A) y la distancia (d) entre las placas como:

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

Donde:

$\epsilon$  = constante dieléctrica del medio entre las placas del capacitor.

Si se consideran CH y CL como las capacitancias de las placas planas y paralelas con áreas idénticas, entonces:

$$CH = \frac{\epsilon \cdot A}{(d/2) + \Delta d} \quad \text{y} \quad CL = \frac{\epsilon \cdot A}{(d/2) - \Delta d}$$

Sin embargo, si la presión del diferencial ( $\Delta P$ ) aplicado al elemento capacitivo no desvía el diafragma sensor más allá del  $d/4$ , es posible suponer que  $\Delta d$  es proporcional a  $\Delta P$  que es:  $\Delta d \propto \Delta P$

Al desarrollar la expresión  $(CL - CH)/(CL + CH)$ , se deduce que:



$$\Delta P = \left( \frac{CH - CL}{CH + CL} \right) = \frac{2.\Delta d}{d}$$

Como la distancia (d) entre la placa fija CH y CL es constante, es posible concluir que la expresión  $(CH - CL)/(CH + CL)$  es proporcional a  $\Delta P$  y por consiguiente, a la presión diferencial a ser medida. Entonces es posible decir que la célula capacitiva es un sensor de presión formado por dos capacitores variables, según la presión diferencial aplicada.

### **17.1.2 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO**

El circuito electrónico mide la variación de la capacitancia entre las placas y genera una señal de 4-20 mA que es proporcional a la presión diferencial aplicada al sensor. Siendo el circuito electrónico basado en un microprocesador es muy preciso, además de ser mejorado al contar con un sensor de temperatura embebido para evitar su funcionamiento incorrecto.

El transmisor puede también operar como una combinación de transmisor más controlador. En este caso, la señal de 4-20 mA es usada como la salida de una función de control PID, mientras la señal digital puede ser usada para monitoreo y calibración remota. En la siguiente figura se puede observar el diagrama en bloques del circuito electrónico del transmisor inteligente de presión diferencial marca SMAR LD 301.

Figura 29. Diagrama en bloques del circuito del LD 301.

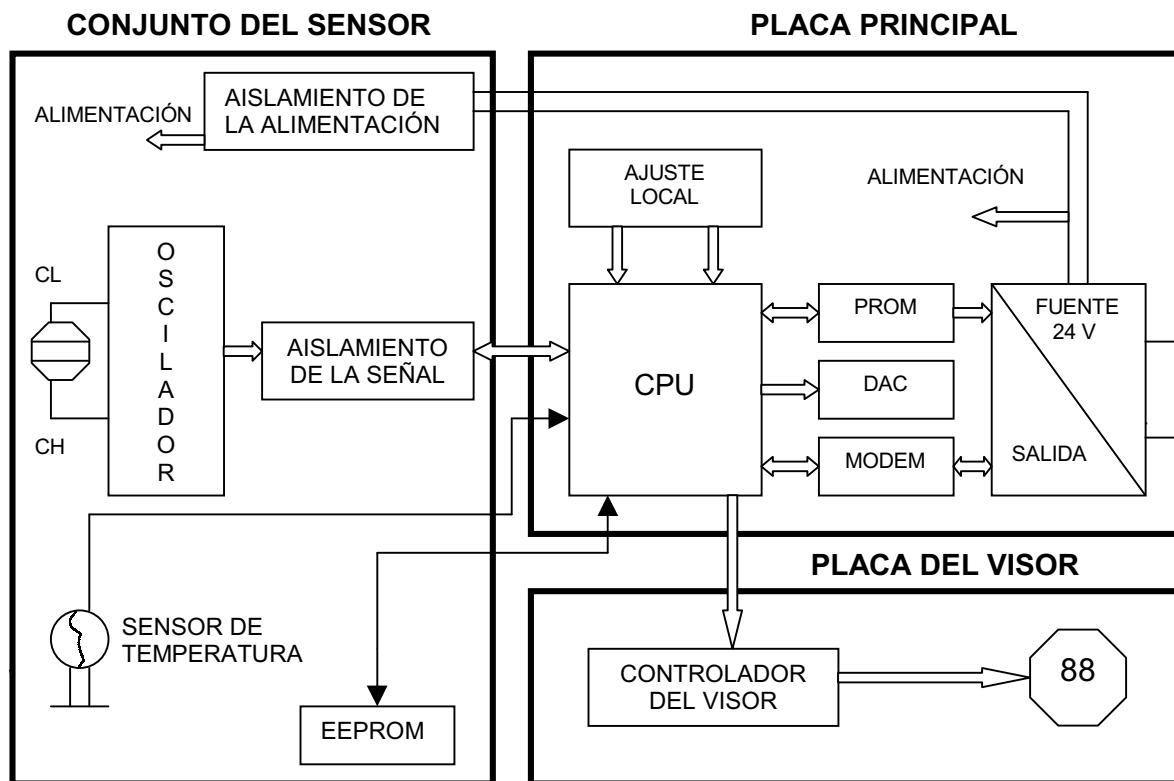
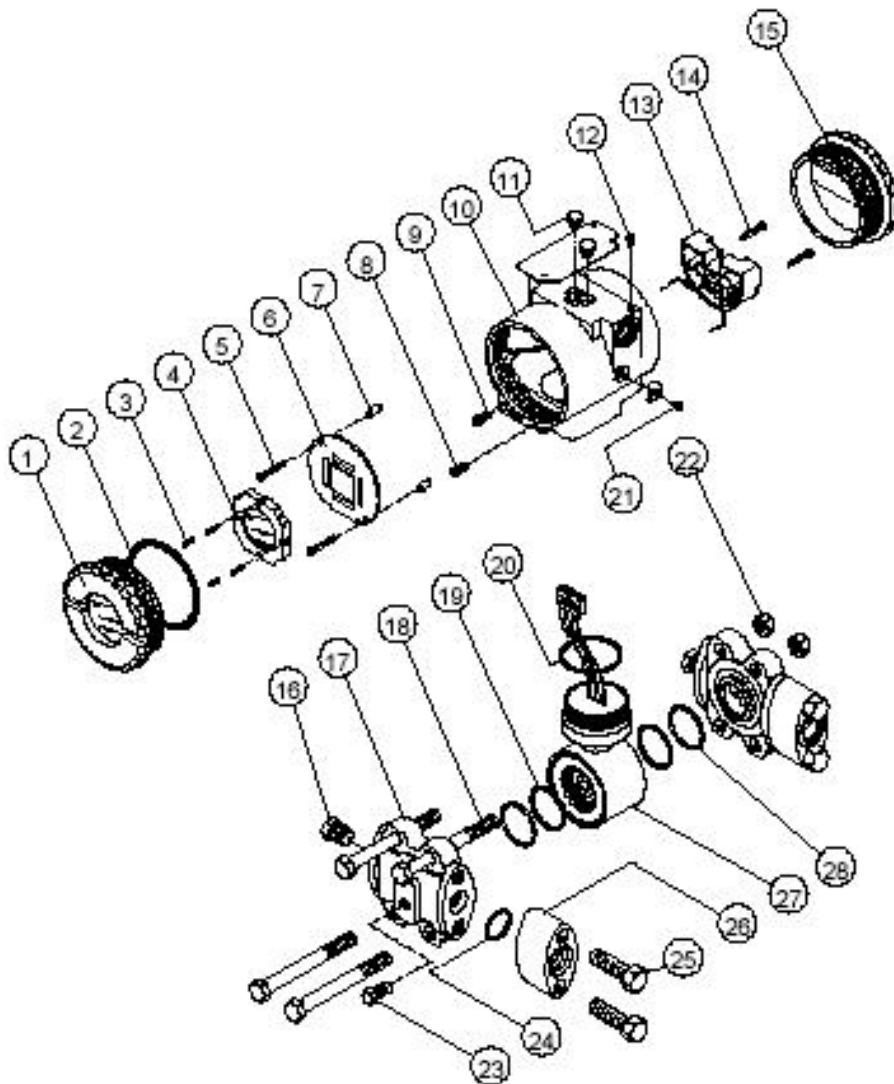


Tabla 7. Partes del Transmisor LD 301.

<b>Nro. Parte</b>	<b>Nombre de la Parte</b>
1	Tapa con Visor
2	Anillos de vedamiento
3	Tornillos
4	Display
5	Tornillos
6	Tarjeta Electrónica Principal
7	Espaciadores
8	Tornillo de traba del sensor
9	Tornillo de traba de tapa
10	Alojamiento
11	Tapa de protección de ajuste local
12	Tornillo de fijación de placa de identificación
13	Aislador de bloque terminal
14	Tornillo de fijación de terminal
15	Tapa sin Visor
16	Tapan de flange
17	Flange (con orificio para drenaje)

18	Tuerca de flange
19	Anillos de vedamiento
20	Anillos de vedamiento
21	Tornillo de aislamiento a Tierra externo
22	Tuercas
23	Tornillo de Drenaje para sacar Aire
24	Anillos de vedamiento
25	Tornillo de adaptador
26	Adaptador
27	Sensor
28	Anillo_O (de refuerzo)

Figura 30. Partes del Transmisor LD 301.

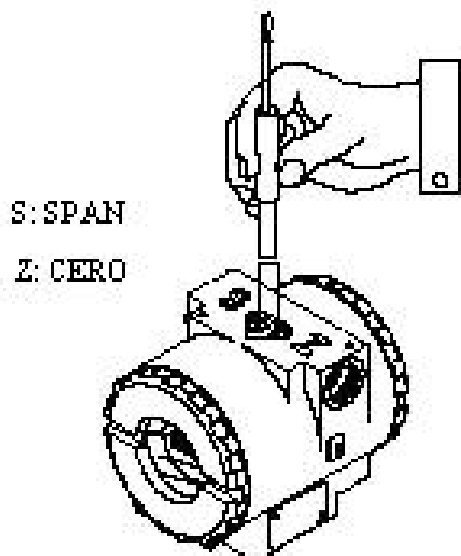


## 17.2 PROGRAMACIÓN Y AJUSTE DEL TRANSMISOR

El LD 301 puede ser programado utilizando el Hand-Terminal o un computador personal (PC) usando el software CONF301 junto con una interface SMAR HI311(HART/RS232C). El software CONF301 es una interface de configuración bajo Windows, que hace la interfaz hombre-maquina sea muy amigable.

El ajuste local se hace por medio de un desatornillador magnético que permite ajustar el cero, span, setpoint, totalización, PID, unidad de medida, trim, etc. En la siguiente figura se puede ver como se realiza el ajuste local del transmisor.

Figura 31. Ajuste local del Cero y Span con el Desatornillador Magnético.

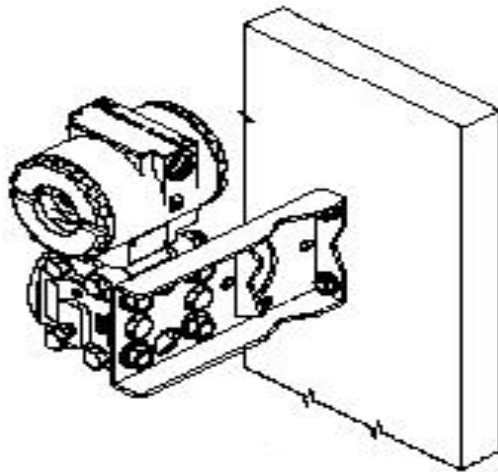


### 17.3 INSTALACIÓN

La precisión global de la medición de flujo, nivel, o presión depende de muchas variables. Aunque el transmisor tenga un buen desempeño, la instalación adecuada es esencial para aumentar al máximo los beneficios obtenidos, entre todos los factores que pueden afectar la precisión del transmisor, las condiciones ambientales son más difíciles para controlar. Sin embargo, hay maneras de reducir los efectos de temperatura, humedad y vibración.

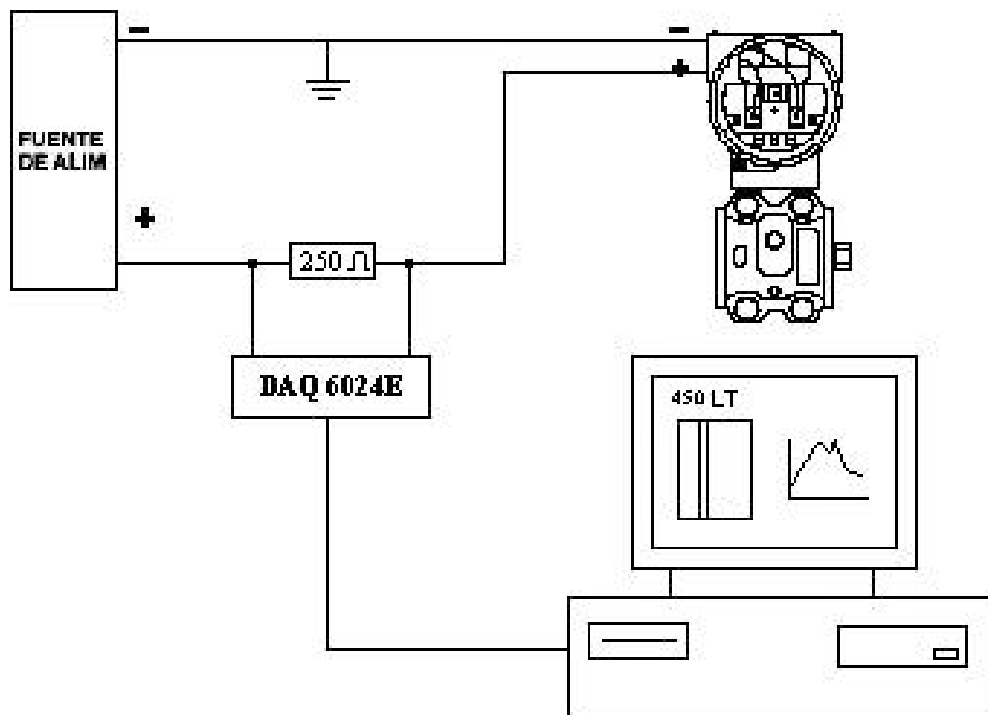
El LD301 tiene un sensor de temperatura embebido que compensa las variaciones de temperatura. En la fábrica de construcción cada transmisor es sometido a un ciclo de temperatura y las características del sensor, bajo temperaturas distintas son grabadas en la memoria del transmisor. En el campo, esta característica atenúa el efecto de la variación de temperatura. El transmisor fue diseñado para ser sólido y ligero al mismo tiempo, esto facilita su montaje en el campo.

Figura 32. Diseño de Montaje del Transmisor LD 301.



Para el montaje general de cada uno de los tres transmisores, 1 transmisor de flujo y 2 transmisores de nivel se utilizó el siguiente diagrama de cableado, que muestra como la señal de campo (flujo ó nivel) es transformada al rango de 4 – 20 mA c.c por el transmisor LD 301 y es enviada por medio de 2 cables de transmisión con apantallamiento a una resistencia de  $250\Omega$  que genera una caída de tensión de 1 - 5 Voltios DC rango a ser digitalizado por la tarjeta de adquisición de datos DAQ 6024E de National Instruments insertada en el computador (PC), la tarjeta dispone de bus PCI, 16 entradas análogas, 8 I/O digitales y 2 salidas análogas todas con una resolución de 12 bits; transporta los datos digitalizados de campo al computador (PC) por medio del driver de comunicaciones OPC Server de National Instruments al software de supervisión SCADA.

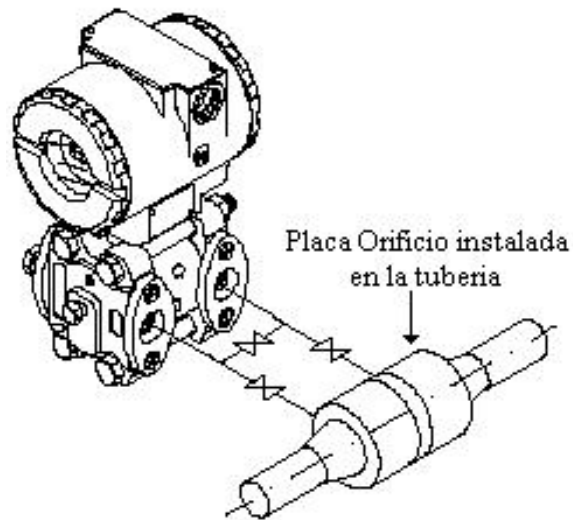
Figura 33. Diagrama general de cableado para el Transmisor LD 301.



### **17.3.1 MONTAJE DEL TRANSMISOR LD 301 PARA MEDIDA DE FLUJO DE ALCOHOL**

La configuración del transmisor LD 301 para medida de flujo de alcohol y la construcción de la placa-orificio en acero inoxidable 316 que fueron instalados en la tubería que conduce el alcohol hacia los tanques de preparación de aguardiente, se realizó en la empresa que suministra los transmisores según los parámetros escritos en el capítulo 12 de este trabajo. Cabe anotar que se puede configurar en campo si es necesario haciendo un ajuste local utilizando el desatornillador magnético. Para su instalación fueron necesarios algunos accesorios como, válvulas de bola (todo o nada), codos para desviar la tubería, una válvula de retención (Check) que se encarga automáticamente de impedir la inversión de flujo de alcohol y de esta forma evitar una medida errónea del transmisor, tubin en acero inoxidable 316 para llevar el fluido de la placa-orificio con tomas en la brida a las tomas alto y bajo (High and Low) del transmisor, así como empalmes y accesorios de ferretería, cable de instrumentación con apantallamiento calibre 18 para llevar la señal de campo al sistema supervisorio en el computador (PC) y una fuente de alimentación de 24 Voltios DC, encargada de suministrar la tensión necesaria para lograr su correcta instalación y funcionamiento en la zona de preparación de aguardiente de la Industria Licorera del Cauca.

Figura 34. Diagrama de Instalación del Transmisor de Flujo de Alcohol.



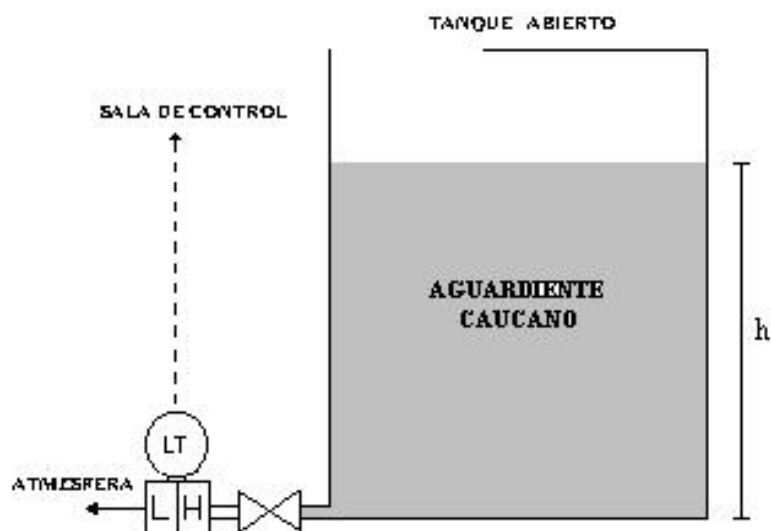
### 17.3.2 MONTAJE DEL TRANSMISOR LD 301 PARA MEDIDA DE NIVEL DE AGUARDIENTE

La configuración de los transmisores LD 301 para medida de nivel de aguardiente que fueron instalados en los dos tanques de preparación de aguardiente, se hizo en la empresa que suministra los transmisores según los parámetros escritos en el capítulo 13 de este trabajo. Cabe anotar que se pueden configurar en campo si es necesario haciendo un ajuste local utilizando el desatornillador magnético. Para la correcta instalación de los transmisores inteligentes de presión LD301 para medida de nivel de aguardiente en la zona de preparación de aguardiente de la Industria Licorera del Cauca, fue necesario adquirir accesorios de ferretería como tubería en acero inoxidable de 2 pulgadas, válvulas de bola (todo o nada), además de cable de instrumentación con apantallamiento calibre 18 para llevar la señal de



campo al sistema supervisorio en el computador y una fuente de alimentación de 24 Voltios DC. Como se desea medir una diferencial de presión y la medida del nivel de aguardiente, al ser ambos tanques de preparación abiertos en la parte superior para lograr el desprendimiento de vapores alcohólicos generados en el proceso de preparación de aguardiente, la instalación del transmisor de nivel de aguardiente se hizo en la parte inferior del tanque para lograr medir el nivel de aguardiente sobrante (que no logra pasar a los tanques de almacenamiento) en cada preparación y la salida de la tubería de la parte inferior del tanque se lleva a la toma de alto (High) del transmisor, mientras que la toma de bajo (Low) se deja abierta a presión atmosférica, para obtener el diferencial de presión requerido para la medida del nivel de aguardiente en los tanques de preparación de la zona de preparación de aguardiente en la Industria Licorera del Cauca.

Figura 35. Diagrama de Instalación del Transmisor de Nivel de Aguardiente.



## 18. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA SUPERVISORIO EN EL PC

### 18.1 CARACTERÍSTICAS DE LA APLICACIÓN

Actualmente, existe una gran oferta de software de supervisión, control y adquisición de datos y la evolución de este software sigue una triple tendencia: intercomunicación entre aplicaciones, estandarización de las comunicaciones con los dispositivos de campo y adopción del entorno de comunicación Internet.

Entre los elementos que caracterizan la oferta actual de software de supervisión y control se destacan la programación en *Visual Basic* o *Visual C* para Aplicaciones, uso de tecnología ActiveX, compatibilidad con el entorno y tecnología de *Microsoft*, y uso del Sistema Operativo *Microsoft Windows*. Las ventajas de la utilización de las redes de comunicación en los entornos SCADA se resumen en la obtención de la información en tiempo real de la planta para cualquier persona autorizada de la misma, esté donde esté.

Con el desarrollo de este proyecto, la industria Licorera del Cauca cuenta con una aplicación que permite la supervisión de tres variables del proceso de preparación de aguardiente: un flujo de alcohol y el nivel de aguardiente en sus dos tanques de preparación a través de un servidor (PC). La aplicación de un sistema SCADA se compone, por una parte, del sitio dónde está ubicado el computador principal o

servidor (llamado comúnmente centro de control), y por otra, los computadores clientes que vía red con protocolo TCP/IP, pueden realizar gestión remota del sistema.

Las herramientas utilizadas en el desarrollo del proyecto son:

- Software SCADA *iFIX Versión 3.5 de GE FANUC Intellution* con *Microsoft Visual BASIC* para aplicaciones incluido.
- Sistema Operativo *Microsoft Windows XP*.
- *Microsoft Excel* para la creación de reportes.

La aplicación desarrollada cumple con las siguientes especificaciones:

- Interfaz gráfica similar a la zona de preparación de aguardiente en la Industria Licorera del Cauca.
- Adquisición de datos a través de la Tarjeta 6024E de National Instruments.
- Visualización del estado del sistema supervisorio: datos, gráficas, alarmas, históricos y reportes.
- Base de datos que registra todos los valores de los parámetros de la aplicación DCS.

### **18.1.1 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS 6024E DE NI**

La Tarjeta Interfaz 6024E de NI encargada del sistema de adquisición de datos está conformada por la tarjeta, un cable conector y un bloque conector. La tarjeta

es para inserción en una ranura tipo PCI del computador, la cual consta de los siguientes bloques funcionales:

- Bloque de 16 entradas analógicas con resolución de 12 bits.
- Bloque de 2 salidas analógicas con resolución de 12 bits.
- Bloque de 8 puertos digitales de entrada y salida.
- Bloque de 2 contadores y 2 temporizadores.

Figura 36. Tarjeta de Adquisición de Datos 6024E.



El bloque conector funciona como bornera para las conexiones análogas y digitales y el cable conector es un cable ribbon que permite conectar el bloque conector y la tarjeta de adquisición de datos. El software especializado *iFIX Versión 3.5 de GE FANUC Intellution* incluye una serie de drivers que permiten realizar la adquisición de los datos a través de sistemas SCADA o PLC's comerciales (*I/O Server*), sin embargo, también permite la adición de otros

sistemas no tan genéricos mediante los denominados Controles ActiveX. Debido a que en la Industria licorera del Cauca la adquisición de los datos del proceso de preparación de aguardiente se realiza a través de la Tarjeta Interfaz 6024E, se hizo necesaria la inclusión de un driver para dicha tarjeta en el software de *iFIX Versión 3.5 de GE FANUC Intellution*, el cual es un driver OPC Server desarrollado por National Instruments y que viene incluido en un CD entregado por la compra de la tarjeta.

#### **18.1.2 DRIVER DE COMUNICACIÓN ENTRE LA TARJETA 6024E E IFIX VERSIÓN 3.5 DE GE FANUC INTELLUTION.**

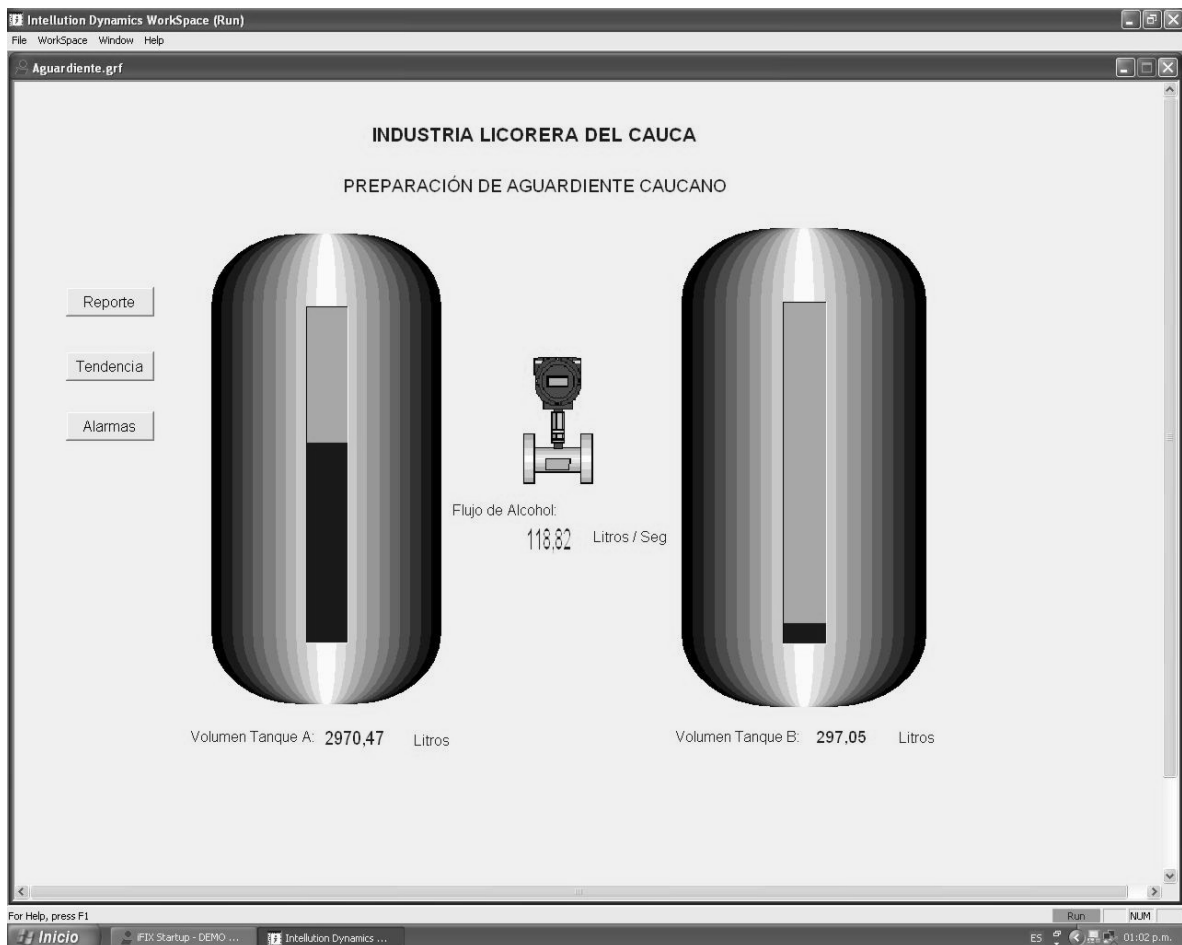
Aprovechando los drivers incluidos en *iFIX* se instaló un Driver OPC-OPC Cliente que permitiera el acceso a los canales de la tarjeta de adquisición de datos desde la aplicación de *iFIX*. Esta comunicación garantiza el envío de datos desde la tarjeta hacia el computador que contiene el sistema supervisorio en *iFIX*.

#### **18.2 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN**

Una vez instalado el driver de comunicación entre la tarjeta de adquisición de datos 6024E e incluido en *iFIX*, se procedió a elaborar las representaciones gráficas de la zona de preparación de aguardiente en la Industria Licorera del Cauca. El software de visualización *iFIX* permite además enlaces de animación para que la información sea vinculada a la pantalla para ser vista y modificada

dinámicamente. En el monitoreo de flujo de alcohol, la señal es enviada por el transmisor LD 301, aquí el flujo mínimo corresponde a 4 mA (1 Voltio DC) y el flujo máximo a 20 mA (5 Voltios DC). En el monitoreo de nivel de aguardiente en los tanques de preparación el nivel mínimo corresponde a 4 mA (1 Voltio DC) y el nivel máximo a 20 mA (5 Voltios DC).

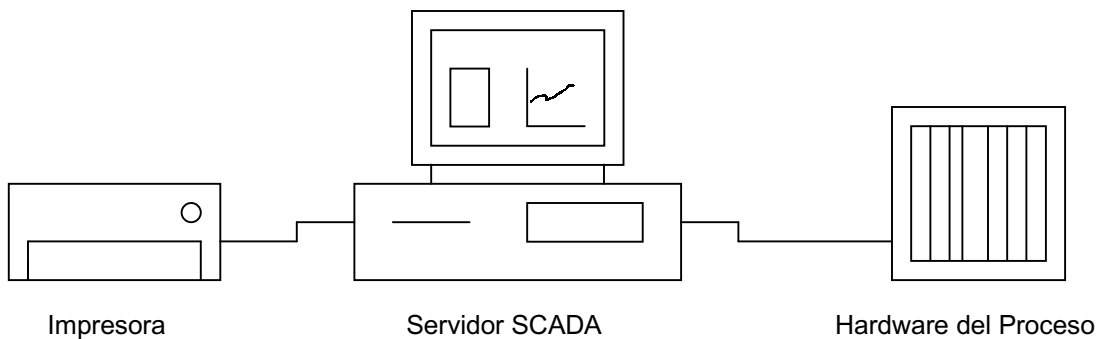
Figura 37. Sistema Supervisorio de Flujo y Nivel por PC en iFIX.



### 18.3. ARQUITECTURA IMPLEMENTADA

Aunque *iFIX* presenta la arquitectura distribuida con muchas ventajas para realizar aplicaciones, no fue posible incluirla en este proyecto por motivos de carácter económicos, se implementó la arquitectura Stand-Alone donde el computador principal (Servidor SCADA) es el nodo conectado directamente al proceso a través de la tarjeta de adquisición de datos. Una desventaja de ésta arquitectura, es que en caso de caerse el nodo principal, se cae la información del proceso conectado a él y además se pierde la comunicación con la tarjeta, ya que la tarjeta de adquisición de datos 6024E está conectada directamente a la ranura PCI del computador. Una posible solución a este problema es conectar otro servidor SCADA gemelo que reciba los datos del proceso cuando el nodo principal falle.

Figura 38. Configuración Stand-Alone.



Para la configuración de la aplicación Stand-Alone, una vez se ha realizado la interfaz gráfica, se asocian los objetos que intervienen en ella con sus correspondientes Tags y se prueba su funcionamiento en su nodo principal. Para

configurar y poner en marcha la aplicación, es necesario habilitar los permisos de acceso (nombre de usuario y contraseña) que se establecen en el sistema supervisorio en *iFIX*. Al final de cada ciclo de preparación de aguardiente el usuario puede solicitar un reporte generado en *EXCEL* que contiene la cantidad de alcohol empleado y volumen de la cantidad de aguardiente preparado. Se realizó una copia de seguridad (Backup) de toda la aplicación utilizando una función de *iFIX*, el Backup Restore (que permite hacer copias de seguridad y recuperar una aplicación desde una copia de seguridad) en el disco duro del computador principal y en un CD en caso de que el PC sufra algún daño.



## 19. CONCLUSIONES

1. La realización de un estudio del proceso de preparación de aguardiente, permitió evidenciar la falta de instrumentos industriales adecuados para la medición del nivel y de flujo que permitan conocer de un modo fiable la cantidad de los insumos utilizados en la preparación del producto final en la Industria Licorera del Cauca. Así como la necesidad de implementarlos en la fabrica para poder tener una supervisión constante en el proceso de producción de aguardiente, además de aumentar el volumen de producción a un menor costo, hecho que posibilita a la Industria Licorera del Cauca competir en otros mercados.
2. La implementación de los transmisores para medir el flujo de alcohol y el nivel de aguardiente en los tanques de preparación redujo el tiempo del ciclo de preparación de aguardiente y permite disminuir las actividades del operario encargado de la preparación de aguardiente, actividades que agregan valor al producto final y con su eliminación reducen el costo por unidad del producto, ya que se reduce el costo que se le agrega al producto por mano de obra.
3. El transmisor para medida de flujo de alcohol permite llevar un control más preciso de la cantidad de alcohol empleado en la preparación de aguardiente y disminuye la posibilidad de pérdida de alcohol, puesto que el instrumento

indica la cantidad de alcohol enviado a los tanques de preparación hace que la calidad del producto final este de acuerdo al grado alcohólico deseado (29° GL) según la “receta” de preparación de aguardiente.

4. Los transmisores para medida de nivel de aguardiente en los tanques de preparación de aguardiente permitieron establecer de un modo más preciso y confiable el volumen de la cantidad de aguardiente preparado en cada ciclo de preparación.
5. La implementación de un sistema supervisorio en PC permitió el monitoreo y supervisión constante del proceso de preparación de aguardiente, además de generar reportes en *EXCEL* automáticamente que reducen el tiempo del Jefe de Producción en hacerlos, además de conocer alarmas e históricos del proceso de preparación, hecho que posibilita la acción correctiva del proceso oportunamente evitando la pérdida de insumos y disminuyendo los gastos de preparación de aguardiente en la Industria Licorera del Cauca, permitiendo un ahorro a esta Industria que se verá reflejado en mayores aportes a la salud, educación y recreación en el departamento del Cauca, favoreciendo a toda la comunidad Caucana.
6. La solución presentada en este trabajo permite que la Industria Licorera del Cauca automatice sus procesos gradualmente, al contar con un software SCADA no se incurrirá en gastos adicionales por este concepto en futuros

proyectos, permitiendo una solución escalable de los distintos procesos industriales realizados en la Industria Licorera del Cauca en donde los estudiantes de Ingeniería Física de la Universidad del Cauca puedan participar y liderar estos futuros trabajos.

7. Las exigencias de la norma NTC-ISO 9001, buscan el seguimiento, medición, análisis y mejora del sistema de gestión de la calidad de los procesos, debido a esto las Industrias nacionales deben buscar mecanismos eficaces para lograr una mejora continua de sus procesos, una forma de lograrlo es la unión de los programas de Ingeniería y la Industria, para que juntos busquen soluciones tecnológicas adecuadas y a la medida de su presupuesto a los problemas presentados en sus procesos.

## BIBLIOGRAFIA

AMY, L. *SCADA Supervisory Control and Data Acquisition*. Resources for Measurement Control Series. ISA. 1995.

CEBALLOS, L.A. *Estudio de métodos y tiempos en la zona de preparación de aguardiente de la Industria Licorera del Cauca*. Universidad del Cauca. Popayán. 2002.

CREUS, A. *Instrumentación Industrial*. Ed. Marcombo. Barcelona, España. 1997.

DÍAZ, J. *Curso de Instrumentación Industrial*. Ed. Unicauca. Popayán. 1995.

DÍAZ, J. *Curso de Software para Aplicaciones Industriales I*. Ed. Unicauca. Popayán. 1995.

GE FANUC AUTOMATION. *Advanced iFIX Development*. USA. 2003.

GREENE. RICHARD. *Válvulas, selección, uso y mantenimiento*. Ed. Mc Graw Hill. México. 1989.

INGENIERÍA DE CRANE. *Flujo de Fluidos: en válvulas tuberías y accesorios*. Ed.

Mc Graw Hill. Mexico. 1989.

INTELLUTION. *IFIX Fundamentals*. USA. 2001.

NATIONAL INSTRUMENTS. *The Measurement and Automation Catalog*. USA.

2002.

OLLERO, A. *Control por Computador*. Ed. Marcombo. España. 1990.

SMAR. *Manual de Instrucciones, Operación y Mantenimiento del Transmisor de*

*Presión Inteligente LD 301*. Versión 6. Brazil. 2002.