

**AFORAMIENTO DIRECTO DE FLUIDOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL  
CONSUMO DE MATERIA PRIMA EN TANQUES DE RECIBO DE  
FRESKALECHE BUCARAMANGA**

**ANDREA JULIANA VARGAS GONZÁLEZ**

**CRISTIAN HUMBERTO VILLAMIZAR PEREZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
ESCUELA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BUCARAMANGA**

**2007**

**AFORAMIENTO DIRECTO DE FLUIDOS PARA LA CUANTIFICACION DEL  
CONSUMO DE MATERIA PRIMA EN TANQUES DE RECIBO DE  
FRESKALECHE BUCARAMANGA**

**Autores:**

**ANDREA JULIANA VARGAS GONZÁLEZ  
CRISTIAN HUMBERTO VILLAMIZAR PEREZ**

**Proyecto de grado para optar el titulo de:  
Ingeniero Mecatrónico**

**Director**

**ING. CARLOS IVÁN PATIÑO GONZÁLEZ  
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
ESCUELA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BUCARAMANGA**

**2007**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bucaramanga, Febrero 12 de 2007

## DEDICATORIA

*A Dios, nuestros padres y hermanos por concedernos el regalo de la vida, por ser apoyo incondicional y fuente de amor, comprensión, solidaridad, ánimo; tan necesarios en esta etapa de la vida en que nuestras personalidades se ven afectadas por tantos factores externos, que de no tenerlos allí habríamos sido completamente alienados y ultrajados en una sociedad tan fuerte. . .*

*... A Carlos Oliveros por sus oportunas intervenciones, la disposición que siempre mostré y, la motivación que nos impulsó a sacar este proyecto adelante; por su grandiosa personalidad que nos mostró durante todo este tiempo, factor sin el que habría sido imposible la interacción y el intercambio de conocimientos que he y nos ha traído hasta este punto del camino en el que nos sentimos mas que orgullosos de todos los escalones que hemos ascendido en la escalera de la vida. . .*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

**CARLOS I. PATIÑO.** Ingeniero electrónico, profesor de la universidad y director de este proyecto, por su colaboración y apoyo incondicional.

**JORGE E. HERNANDEZ.** Ingeniero Eléctrico y Gerente de la empresa SENSOMATIC Y CIA LTDA, por permitir a los autores formar parte del proyecto y hacer uso de los equipos pertenecientes a la empresa.

A la empresa **SENSOMATIC & CIA LTDA** por confiar en nosotros y darnos la oportunidad de desarrollar este proyecto.

Y a todas aquellas personas que estuvieron siempre dispuestas a prestar ayuda en los momentos que fueran necesarios.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	13
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO</b>	17
1.1 AFORO	17
1.1.1 MÉTODOS DE AFORO	18
1.1.1.1 MÉTODO GEOMÉTRICO	19
1.1.1.2 MÉTODO VOLUMÉTRICO	20
1.1.1.3 MÉTODO GRAVIMÉTRICO	20
1.1.2 CONDICIONES PARA EL AFORO	21
1.2.1 SUBDIVISIÓN DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS	22
1.3 INSTRUMENTACIÓN	25
1.3.1 INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA	25
1.3.2 SENSORES	25
1.3.3 ACONDICIONADORES	27
1.3.4 INSTRUMENTOS PARA MEDIDA DE CAUDAL	28
1.3.4.1 UNIDADES PARA MEDIR CANTIDAD DE FLUIDO	28
1.3.4.2 MEDIDORES DE CAUDAL	29
1.3.5 INSTRUMENTOS PARA MEDIDA DE NIVEL	31
1.3.5.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE NIVEL	31
1.4 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC'S)	35
1.4.1 CLASIFICACIÓN	37
1.4.2 VENTAJAS	38

1.4.3 DESVENTAJAS	39
1.4.4 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN	39
1.4.5 APLICACIONES INDUSTRIALES	41
1.5 SISTEMAS SCADA	42
1.5.1 PRESTACIONES	43
1.5.2 REQUISITOS	43
1.6 PROCESO DE ADQUISICIÓN, TRANSPORTE Y RECIBO DE MATERIA PRIMA EN FRESKALECHE BUCARAMANGA	44
<b>CAPITULO 2. DISEÑO GENERAL</b>	48
2.1 METODOLOGÍA DEL DISEÑO MECATRÓNICO	48
2.2 ESPECIFICACIONES REQUERIDAS DE LOS EQUIPOS	50
2.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS	51
2.3.1 INSTRUMENTACIÓN	51
2.3.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE	54
2.3.3 SISTEMAS SCADA	55
2.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE EQUIPOS	59
2.5 LISTA DE EQUIPOS	62
<b>CAPITULO 3. DESARROLLO Y PRUEBAS</b>	64
3.1 DESCRIPCION TECNICA	64
3.2 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO	67
3.3 DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL	70
3.3.1 SOFTWARE PROGRAMADOR STEP 7 – Micro/Win	70
3.3.2 PROGRAMACIÓN DEL PLC	72
3.3.3 CONEXIONES ELÉCTRICAS	74
3.4 PUESTA EN MARCHA DE LA INSTRUMENTACIÓN	77
3.4.1 THE PROBE	77

3.4.2 SITRANS F MAGFLOW	81
3.5 DISEÑO DEL SISTEMA SCADA	82
3.6 PRUEBAS	84
3.6.1 PRIMERA PRUEBA	84
3.6.1.1 TOMA DE DATOS	84
3.6.1.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	88
3.6.1.3 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	89
3.6.2 SEGUNDA PRUEBA	89
3.6.2.1 TOMA DE DATOS	89
3.6.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	93
3.6.2.3 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	94
<b>CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>95</b>
4.1 CONCLUSIONES	95
4.2 RECOMENDACIONES	96
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>100</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Aforo directo	17
Figura 2. Principio de Pascal	22
Figura 3. Distribución de las fuerzas sobre un cuerpo sumergido	23
Figura 4. Explicación gráfica del Principio de Arquímedes	23
Figura 5. Teorema de Bernoulli	24
Figura 6. Tipos de flujo laminar	25
Figura 7. Medidor de sonda	33
Figura 8. CPU de PLC S7-200	36
Figura 9. Configuración típica red SCADA	42
Figura 10. Metodología del Diseño Mecatrónico	48
Figura 11. Diseño Mecatrónico	49
Figura 12. LabView	57
Figura 13. WinCC Flexible 2005	58
Figura 14. RsView32	59
Figura 15. PLC S7-200	60
Figura 16. Esquema de funcionamiento	67
Figura 17. Uso del STEP 7 Micro/Win	70
Figura 18. STEP 7 Micro/Win	71
Figura 19. Programa	72
Figura 20. Conectar la alimentación del S7-200	75
Figura 21. Conexiones de la CPU 224XP	75
Figura 22. Conexiones del módulo EM235	76
Figura 23. Conectar el Cable Multimaestro (USB/RS232)/PPI	77
Figura 24. Instalación The Probe	78
Figura 25. Conexión The Probe	79

Figura 26. Precauciones	79
Figura 27. Condiciones de instalación del MagFlow	81
Figura 28. Conexiones eléctricas del MagFlow	82
Figura 29. Escritorio WinCC Flexible	83
Figura 30. Conexiones WinCC Flexible	83
Figura 31. Variables del Sistema SCADA	84
Figura 32. Curva Compartimiento 1, Prueba 0	86
Figura 33. Curva Compartimiento 2, Prueba 0	87
Figura 34. Curva Compartimiento 3, Prueba 0	88
Figura 35. Curva Compartimiento 1, Prueba 1	91
Figura 36. Curva Compartimiento 2, Prueba 1	92
Figura 37. Curva Compartimiento 3, Prueba 1	93

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

	<b>Pág.</b>
Fotografía 1. Sensores/ transmisores de nivel	26
Fotografía 2. Acondicionadores de señal	27
Fotografía 3. Medidores de caudal Schillig	29
Fotografía 4. Sensores de nivel GLI	31
Fotografía 5. PLC's Allen Bradley	35
Fotografía 6. PLC's y HMI Siemens	38
Fotografía 7. Recepción de leche	44
Fotografía 8. Carro cisterna	45
Fotografía 9. Remisión Leche cruda	46
Fotografía 10. Productos Freskaleche	47
Fotografía 11. The Probe	53
Fotografía 12. MagFlow 6000	54
Fotografía 13. Programa presentado	64
Fotografía 14. Equipos montados	65
Fotografía 15. The Probe	65
Fotografía 16. Sitrans	66
Fotografía 17. MAGFLOW	66
Fotografía 18. Sobre el tanque	68
Fotografía 19. Montaje Probe	68
Fotografía 20. Observación	69

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Método de aforo más usado según el tanque	21
Tabla 2. Selección Equipos de Medidores de Nivel	52
Tabla 3. Selección de Caudalímetro	53
Tabla 4. Selección de PLC	55
Tabla 5. Lista de equipos	62
Tabla 6. Calibración del Probe	80
Tabla 7. Prueba 0, Compartimiento 1	85
Tabla 8. Prueba 0, Compartimiento 2	86
Tabla 9. Prueba 0, Compartimiento 3	87
Tabla 10. Prueba 1, Compartimiento 1	90
Tabla 11. Prueba 1, Compartimiento 2	91
Tabla 12. Prueba 1, Compartimiento 3	92

## INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la información de inventarios y consumos de materia prima en el sector industrial, es de gran importancia para lograr una buena administración y control en lo referente al manejo de los insumos de la planta.

A nivel mundial se han realizado prácticas de aforamiento, entre estas podemos encontrar las realizadas por la empresa ATP INGENIERÍA LTDA., empresa ubicada en Colombia, en el departamento del Huila, la cual afora tanques de almacenamiento por el método telemétrico (medición y calibración de tanques cilíndricos verticales/horizontales), en el que se obtienen tablas de aforo de tanques a través de ciertas variables necesarias que permitan determinar la cantidad de fluido en el tanque a una profundidad determinada.

También la Universidad de los Andes ubicada en Mérida-Venezuela, realizó en el 2002 un proyecto con el título Metodología para ensayos de Aforamiento de Pozos de Agua subterránea en estudios de Geosísmica; con una metodología para la realización de ensayos de aforamiento de pozos de agua subterránea a fin de efectuar el reconocimiento, descripción y medición de las variables cualitativas del agua subterránea y de la infraestructura del pozo utilizado para su extracción, necesarias para llevar a cabo los diagnósticos, antes y después de los ensayos de geosísmica, requeridos por los estudio exploratorios, utilizando la información obtenida en los proyectos tridimensionales ejecutados por la empresa EXGEO, C.A., en el Bloque de la Ceiba (Estado Trujillo) y en los campos Dación-Ganso (Estado Anzoátegui).

El Dr. C. Oscar A. González Chong y el Lic. Michel García Pérez realizaron un

trabajo titulado MODELO MATEMÁTICO PARA EL AFORO DE UN TANQUE, que expone el modelo matemático utilizado para aforar un tanque de forma irregular, este es empleado para almacenar el combustible que se distribuye a los diferentes usuarios de la empresa que contrató el servicio, con el propósito de determinar exactamente en cada momento la cantidad de combustible despachado. Se utilizaron como herramientas fundamentales el cálculo diferencial e integral, el asistente matemático Mathematica y el lenguaje de programación Delphi. La solución obtenida puede ser aplicada a cualquier tanque del mismo tipo con otras dimensiones, además de poderse adaptar el modelo a tanques con otras formas irregulares.

A nivel nacional las aplicaciones que se encuentran no han sido planteadas como tema de estudio, por lo que se realizan la mayoría de las veces, por métodos tradicionales, como el aforo por medio de un serafín, éste es un recipiente debidamente calibrado y certificado para la toma de cierta medida.

A pesar de esto, hay empresas como FANALTANQUES LTDA., ENDOSPINA, entre otras, que prestan el servicio de aforo de tanques de almacenamiento a otras como ECOPETROL.

En el estudio de las ciencias, es necesario hacer uso de los conocimientos teóricos en aplicaciones específicas; se parte entonces de las necesidades de una empresa reconocida a nivel nacional; la cual solicita el aforo de los tanques de ingreso de insumos al interior de sus instalaciones.

Por medio de la figura de licitación se accede al proyecto a través de la empresa SENSOMATIC Y CIA LTDA.

Se ve entonces la necesidad de crear un sistema de dispositivos que sirvan a la

industria para mejorar y controlar con mayor precisión sus procesos de producción, es ahí donde se logra identificar el valor agregado que presenta realizar un proyecto de tesis aplicado a la industria de forma inmediata. Una vez realizado el planteamiento del problema se da comienzo a la elaboración de este proyecto, donde se partirá de las referencias aportadas por la empresa contratante y los requerimientos de esta, obteniendo así los datos necesarios para diseñar y/o seleccionar el sistema más adecuado para la obtención de la información necesaria para la solución de dicho problema.

La segunda fase de este proyecto es la construcción y puesta en marcha del sistema mencionado. Es preciso resaltar que algunos de los instrumentos utilizados en esta parte pueden variar respecto al diseño realizado por requerimientos del contratista o el contratante, además, existe la posibilidad de que el producto a aforar no sean lácteos dadas las pérdidas que se pueden ocasionar a la empresa contratante, de este modo el producto a aforar puede ser agua tratada con características especiales.

La empresa SENSOMATIC & CIA LTDA se ha comprometido con la industria de lácteos FRESKALECHE S.A. en el diseño, desarrollo, montaje y puesta en marcha de un sistema de Aforamiento de tanque para solucionar la falta de control de insumos en la planta.

A través del sistema mecatrónico planteado se espera tener control sobre las variables fundamentales en el suministro de insumos, optimizando su producción.

## **OBJETIVO GENERAL**

Registrar, evaluar e interpretar los datos de medición proporcionados por diferentes dispositivos de aforamiento con el desarrollo de una metodología que permita medir y controlar en forma rápida y exacta el consumo de insumos en la industria.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Seleccionar e implementar sensórica para la adquisición de las señales involucradas en el Proyecto.
- ✓ Diseñar y programar un sistema de registro, supervisión y control simultáneo de caudal y nivel del fluido en un proceso de Aforamiento de tanques, por medio de un autómata programable (PLC).
- ✓ Desarrollar un sistema SCADA para la visualización e interpretación del proceso en tiempo real, permitiendo la generación de históricos, reportes y gráficos de tendencia, por medio de un PC.
- ✓ Implementar redes industriales tipo Profibus-DP para la comunicación entre el autómata y el sistema SCADA.

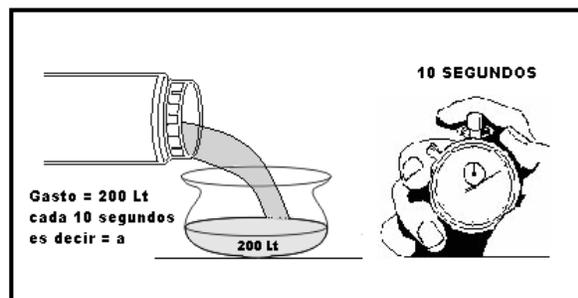
## CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 AFORO

También conocido como calibración, se define como el proceso para determinar la capacidad total del tanque, o las correspondientes capacidades parciales a diferentes alturas<sup>1</sup>.

Aforar es medir un caudal. Para realizar un aforo en un sistema hidráulico, se puede medir directamente el volumen, en un recipiente y el tiempo, con un cronómetro. Este método volumétrico es el más recomendable, sin embargo a veces es difícil de aplicar, solamente resulta útil para caudales pequeños y donde las características físicas lo permitan.

Figura 1. Aforo directo.



De los autores.

Debido a lo anterior, han surgido los **métodos indirectos**, que como su nombre lo señala miden otras variables físicas distintas del caudal, como por ejemplo la velocidad o la altura piezométrica, para luego, aplicando los principios hidráulicos, obtener dicho caudal.

<sup>1</sup> <http://www.monografias.com/trabajos22/calibracion/calibracion.shtml>

Es de gran importancia la exacta medición de las dimensiones del tanque, pues a partir de estas se determina el volumen del líquido y con estos datos se obtiene una tabla de capacidad. A partir de una tabla incorrecta surgirán fallas en la cuantificación del contenido del tanque y se tendrá como consecuencia una producción prevista de forma errónea; esto a su vez generará serios inconvenientes en el registro del aforo. Todo desemboca en errores sistemáticos en el cálculo de las cantidades, bien sea de entrada o salida del tanque. Los problemas ocasionados usualmente son imposibles de resolver sin que haya pérdidas significativas para la empresa.

Después de un proceso de aforo efectuado de manera precisa se observará que aunque en una planta gran parte de los tanques parezcan idénticos, cada uno tiene dimensiones únicas, por lo tanto no es adecuado realizar las mediciones a partir de los planos ingenieriles empleados en la construcción de los tanques.

### **1.1.1 MÉTODOS DE AFORO**

Básicamente existen tres métodos empleados para la calibración de tanques:

- Geométrico.
- Volumétrico.
- Gravimétrico

La selección del método o del procedimiento esta relacionada con la capacidad nominal del tanque, su forma, su ubicación, las condiciones de uso, entre otras.

### 1.1.1.1 MÉTODO GEOMÉTRICO.

Consiste en una medición directa o indirecta de la superficie del tanque, bien sea interna o externa. Esta calibración cuenta a su vez con cinco métodos:

- 1 Método de encintado para tanques cilíndricos verticales.
- 2 Método de la línea óptica de referencia para tanques cilíndricos verticales.
- 3 Método de triangulación óptica, para tanques cilíndricos verticales.
- 4 Método electro-óptico de distancias ordenadas mediante mediciones internas.
- 5 Método electro-óptico de distancias ordenadas mediante mediciones externas.

La elección del método más conveniente se rige por algunas especificaciones dadas: El procedimiento de medición interna por medio de una cinta con un dispositivo para tensar, generalmente no se admite para la calibración de tanques que contienen líquidos involucrados en el comercio internacional, pero se hará excepción a la regla en caso en que no se halle un mejor método para el aforo (por ejemplo, en el caso de tanques aislados térmicamente). En cada uno de estos métodos es necesario hacer una corrección por temperatura, debido a que en el momento de la calibración del tanque es común que exista producto en su interior, por lo que se ve afectada su estructura debido a la deformación que este provoca en el casco<sup>2</sup>.

En general los métodos geométricos pueden ser aplicados a tanques con una capacidad nominal de alrededor de 50m<sup>3</sup> y más, que posean forma geométrica regular sin presentar deformaciones.

---

<sup>2</sup> <http://www.monografias.com/trabajos22/calibracion/calibracion.shtml>

### **1.1.1.2 MÉTODO VOLUMÉTRICO.**

En general puede ser aplicado a cualquier tipo de tanque, aunque se recomienda emplearlo en tanques de 8 a 80m<sup>3</sup>. Las mediciones se realizan con un sensor de caudal y una cinta metálica clase 1 con plomada, ambos de gran precisión.

Generalmente se usa el método volumétrico en tanques de las siguientes categorías: subterráneos (UST) de cualquier capacidad; y al nivel del suelo o elevados (AST), pero su capacidad no puede exceder los 100m<sup>3</sup>.

Tiene dos tipos de procedimiento: Por llenado y por vaciado. El primero es empleado en UST's debido a su posición respecto al suelo, consiste en llenar el tanque que se desea aforar y empleando la cinta metálica se miden los niveles de llenado, obteniendo así una tabla de volumen contra nivel. En muchas ocasiones es necesario calibrar los fondos de los tanques cilíndricos verticales utilizando este método debido a las deformaciones irregulares que suelen sufrir estos debido a la presión del líquido durante el servicio.

### **1.1.1.3 MÉTODO GRAVIMÉTRICO.**

Se toma la medición con el tanque inicialmente lleno de agua y después de vaciado con básculas de elevada precisión. La diferencia entre las dos mediciones relacionada con la densidad del fluido que se va a emplear en el aforo permite hallar el volumen del tanque. Al realizar la tabla de capacidad se debe tener en cuenta el efecto de la temperatura sobre la densidad del agua. El método que se debe utilizar a la hora de aforar se selecciona más que todo dependiendo la forma del tanque, por esta razón se realizó una tabla que relaciona los dos aspectos mencionados.

Tabla 1. Método de aforo más usado según el tanque.

Tipo de Tanque	Método		
	Geométrico	Volumétrico	Gravimétrico
Cilíndricos Verticales	x	o	
Cilíndricos Horizontales		x	
Esferas	o	x	
Esferoides	o	x	
Carros cisternas		x	
Ferro Cisternas		x	

- o Aplicaciones especiales que dependen de la capacidad del tanque y/o de normas dadas dependiendo de la aplicación del tanque (por ejemplo las normas API aplicadas en petróleos).

<http://www.monografias.com/trabajos22/calibracion/calibracion.shtml>

### 1.1.2 CONDICIONES PARA EL AFORO.

- a. Tener en cuenta todas las reglas de seguridad industrial con el fin de prevenir cualquier tipo de accidente.
- b. El recipiente debe estar totalmente vacío, despresurizado y limpio para dar comienzo al aforo.
- c. Garantizar las condiciones ideales de funcionamiento en los instrumentos de medición, para la optimización de resultados.

## 1.2 MECÁNICA DE FLUIDOS

La rama de la física encargada de estudiar la acción y comportamiento de los fluidos en reposo y en movimiento, como así, las aplicaciones y mecanismos que se emplean en los fluidos se denomina mecánica de fluidos.

### 1.2.1 SUBDIVISIÓN DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS

Se subdivide en dos campos principales: la Hidrostática o estática de fluidos, que se ocupa de los fluidos en reposo, y la Hidrodinámica o dinámica de fluidos, que trata de los fluidos en movimiento y sus leyes.

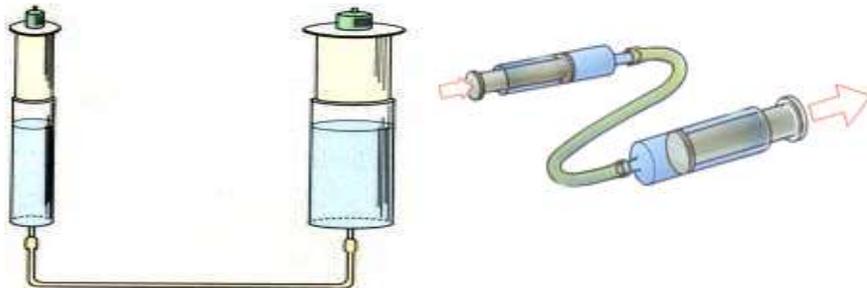
Una característica fundamental de cualquier fluido en reposo es que la fuerza ejercida sobre cualquier partícula del fluido es la misma en toda dirección. Si las fuerzas fueran desiguales, la partícula se deslizaría en dirección de la fuerza resultante.

De ello se deduce que la fuerza la presión que el fluido ejerce contra las paredes del recipiente que lo contiene, sea cual sea su forma, es perpendicular a la pared en cada punto. Si la presión no fuera perpendicular, la fuerza tendría una componente tangencial no equilibrada y el fluido se movería a lo largo de la pared.

$$P = \frac{F}{A}$$

Este concepto fue formulado por el matemático y filósofo francés Blaise Pascal en 1.647 y se conoce como Principio de Pascal.

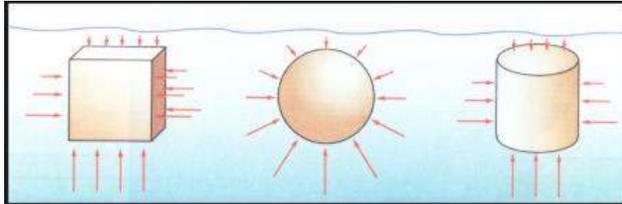
Figura 2. Principio de Pascal.



<http://br.geocities.com/saladefisica10/experimentos/e88a.jpg>

Si la gravedad es la única fuerza que actúa sobre un líquido contenido en un recipiente abierto, la presión en cualquier punto del líquido es directamente proporcional al peso de la columna vertical de dicho líquido situada sobre ese punto.

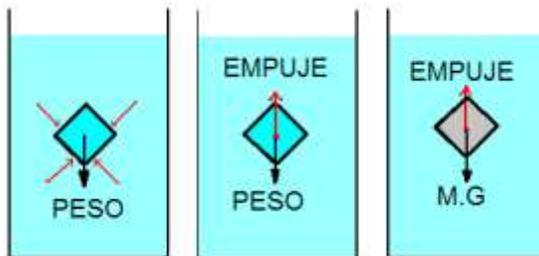
Figura 3. Distribución de las fuerzas sobre un cuerpo sumergido.



[http://www.portalplanetasedna.com.ar/archivos\\_varios/tres\\_principios03.jpg](http://www.portalplanetasedna.com.ar/archivos_varios/tres_principios03.jpg)

La presión es a su vez proporcional a la profundidad del punto con respecto a la superficie, y es independiente del tamaño o forma del recipiente.

Figura 4. Explicación gráfica del Principio de Arquímedes.



<http://www.monografias.com/trabajos32/pascal-arquimedes-bernoulli/pas2.gif>

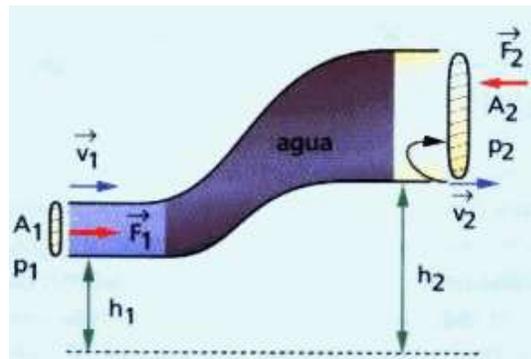
Después de la contribución que realizó Arquímedes con el tornillo sin fin para impulsar los fluidos, pasaron más de 1.800 años para que el matemático y físico italiano Evangelista Torricelli inventara el barómetro en 1.643 y formulara su teorema, que relaciona la velocidad de salida de un líquido a través de un orificio de un recipiente, con la altura del líquido situado por encima de dicho agujero<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> [http://www.fisicanet.com.ar/fisica/estatica\\_fluidos/ap03\\_hidroestatica.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/estatica_fluidos/ap03_hidroestatica.php)

Luego fueron formuladas las leyes del movimiento por el matemático y físico francés Isaac Newton; estas leyes fueron aplicadas por primera vez a los fluidos por el matemático suizo Leonhard Euler, quien dedujo las ecuaciones básicas para un fluido sin rozamiento. Los flujos incompresibles y sin rozamiento cumplen el llamado Teorema de Bernoulli, el cual afirma que la energía mecánica total de un flujo incompresible y no viscoso es constante a lo largo de una línea de corriente. Las líneas de corriente son líneas de flujo imaginarias que siempre son paralelas a la dirección del flujo en cada punto, y en el caso de flujo uniforme coinciden con la trayectoria de las partículas individuales de fluido.

El teorema de Bernoulli implica una relación entre los efectos de la presión, la velocidad y la gravedad, e indica que la velocidad aumenta cuando la presión disminuye; este principio es importante para la medida de flujos.

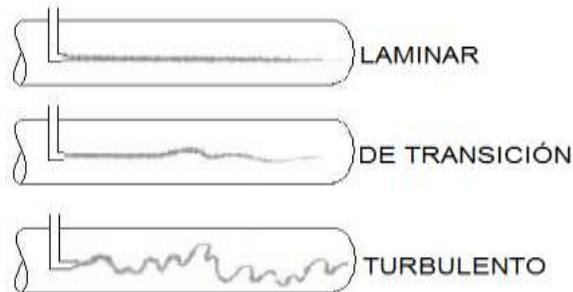
Figura 5. Teorema de Bernoulli.



[http://www.portalplanetasedna.com.ar/archivos\\_varios/tres%25principios09.jpg](http://www.portalplanetasedna.com.ar/archivos_varios/tres%25principios09.jpg)

El flujo laminar en una tubería puede ser laminar o turbulento. Osborne Reynolds fue el primero en distinguir la diferencia entre estas dos clasificaciones de flujo y una más de transición (Figura 6).

Figura 6. Tipos de flujo laminar.



MUNSON. Fundamentos de Mecánica de Fluidos.

### 1.3 INSTRUMENTACIÓN

#### 1.3.1 INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

Es parte de la electrónica, principalmente analógica, que se encarga del diseño y manejo de los diferentes aparatos electrónicos, sobre todo para que sean utilizados en mediciones<sup>4</sup>.

La instrumentación electrónica se aplica en el proceso de sensado y codificación de la información proveniente de variables físicas y químicas, a partir de las cuales realiza el monitoreo y control de procesos, empleando dispositivos y tecnologías electrónicas.

#### 1.3.2 SENSORES

Un elemento imprescindible para la toma de medidas es el sensor, pues se encarga de transformar la variación de la magnitud a medir en una señal eléctrica.

---

<sup>4</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3nica>

Fotografía 1. Sensores/ transmisores de nivel.



[http://www.onimex.com.ve/imag/imagn\\_1.jpg](http://www.onimex.com.ve/imag/imagn_1.jpg)

Los sensores se pueden clasificar en:

- Pasivos: necesitan un aporte de energía externa.
- Resistivos: transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de su resistencia eléctrica. Un ejemplo puede ser un termistor, que sirve para medir temperaturas.
- Capacitivos: transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de la capacidad de un condensador. Un ejemplo es un condensador con un material en el dieléctrico que cambie su conductividad ante la presencia de ciertas sustancias.
- Inductivos: transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de la inductancia de una bobina. Un ejemplo puede ser una bobina con el núcleo móvil, que puede servir para medir desplazamientos.
- Activos: capaces de generar su propia energía. A veces también se les llama sensores generadores. Un ejemplo puede ser un transistor en el que la puerta se sustituye por una membrana permeable sólo a algunas sustancias (IsFET), que puede servir para medir concentraciones. Otros ejemplos son: termopar, fotorresistencia, fotodiodo, fototransistor, condensador de placas móviles, sensor de efecto Hall, etc.

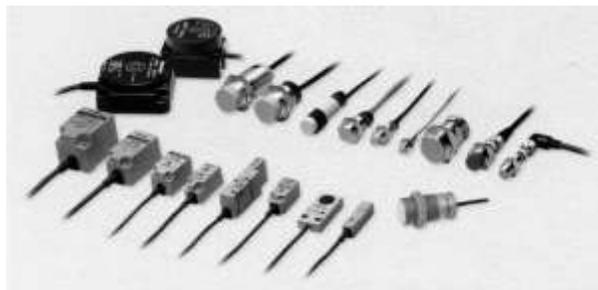
A veces también se puede aprovechar una característica no deseada de un elemento, como la dependencia de la temperatura en los semiconductores, para usar estos elementos como sensores

### 1.3.3 ACONDICIONADORES

La señal de salida de un sensor a veces no es válida para su procesado. Por lo general requiere de una amplificación para adaptar sus niveles a los del resto del circuito. Un ejemplo de amplificador es el amplificador de instrumentación, que es muy inmune a cierto tipo de ruido.

No sólo hay que adaptar niveles, también puede que la salida del sensor no sea lineal o incluso que ésta dependa de las condiciones de funcionamiento (como la temperatura ambiente o la tensión de alimentación) por lo que hay que linealizar el sensor y compensar sus variaciones. La compensación puede ser hardware o software, en este último caso ya no es parte del acondicionador.

Fotografía 2. Acondicionadores de señal.



<http://www.geocities.com/luilakes/Proximity.jpg>

Otras veces la información de la señal no está en su nivel de tensión, puede que esté en su frecuencia, su corriente o en algún otro parámetro, por lo que también se pueden necesitar de moduladores, filtros o convertidores corriente-tensión. Un

ejemplo de cuando la información no está en el nivel de tensión puede ver un sensor capacitivo, en el que se necesita que tenga una señal variable en el tiempo (preferentemente sinusoidal).

Un ejemplo clásico de acondicionador es el puente de Wheatstone, en el que se sustituyen una o varias impedancias del puente por sensores.

Por último, entre el acondicionador y el siguiente paso en el proceso de la señal puede haber una cierta distancia o un alto nivel de ruido, por lo que una señal de tensión no es adecuada al verse muy afectada por estos dos factores. En este caso se debe adecuar la señal para su transporte, por ejemplo transmitiendo la información en la frecuencia o en la corriente (por ejemplo el bucle de 4-20mA).

### **1.3.4 INSTRUMENTOS PARA MEDIDA DE CAUDAL.**

#### **1.3.4.1 UNIDADES PARA MEDIR CANTIDAD DE FLUIDO**

La cantidad de cierto líquido, gas o vapor se puede medir en unidades de masa, y el régimen de flujo en unidades de masa por unidad de tiempo, por ejemplo, en libras por hora. De hecho, en la práctica se utilizan dichas unidades, especialmente cuando se trata de vapor de agua.

Pero con mucha frecuencia se mide la cantidad de un fluido en unidades de volumen y el régimen de flujo en unidades de volumen por unidad de tiempo, por ejemplo, galones por minuto, barriles por día, litros por hora.

Generalmente la cantidad de agua se mide en galones a 25 °C, la de otros líquidos manejados en la industria del petróleo en barriles a 25 °C; la cantidad de

gas en pies cúbicos a 25 °C y 14.7 lb/plg.

#### 1.3.4.2 MEDIDORES DE CAUDAL

Fotografía 3. Medidores de caudal Schillig.



<http://www.schillig.com.ar/images/hofferfm.gif>

#### Medidores mecánicos

Los captadores transmiten el desplazamiento del flotador o la inclinación de la balanza tórica, por medio de juegos de palancas, levas, u otro dispositivo mecánico, a un eje que gira arrastrando la pluma del registrador. Este eje ha de salir al exterior atravesando la pared de la cámara del flotador, que esta bajo presión. Esto se consigue por medio de una chumacera o cojinete estanco que, para no falsear la medida ha de producir el mínimo rozamiento posible sobre el eje.

#### Medidores de corrientes de fluido

Estos medidores tienen una hélice u otro elemento giratorio, que es accionado por la corriente de fluido y transmite su movimiento, por engranajes, al contador. Miden la velocidad del fluido y la corriente en medidas de flujo. Una de las ventajas de estos aparatos es la pequeña caída de presión que provocan; por

ejemplo, en líneas de tubería de 20,3 cm. o más, la pérdida es generalmente menor que 7,6 cm. de columna de agua, a velocidades normales.

Generalmente el propulsor ocupa aproximadamente ocho décimas partes del diámetro de la tubería y se disponen de estas paletas rectas con el fin de reducir la tubería y asegurar un flujo suave a través del propulsor.

#### Medidores de flujo ultrasónicos

Un transmisor que genera sonido ultrasónico, se monta en el exterior de una tubería colocando a distancias determinadas, aguas arriba y abajo, sendos receptores de ultrasonidos opuestos al emisor.

En condiciones de no-flujo, ambos receptores reciben igual cantidad de energía ultrasónica y generan tensiones iguales. En condiciones de flujo (en cualquier sentido) las ondas ultrasónicas se deflecan y como resultado los receptores generan voltajes distintos. Comparando ambos voltajes, se tiene indicación del sentido y la magnitud del flujo.

#### Medidores de masa de flujo

Los medidores de masa de flujo diferentes de los demás en que miden directamente el peso del flujo y no su volumen. El medidor de masa de flujo de la General Electric mide flujos gaseosos o líquidos, por ejemplo, expresándolos directamente en libras y, por tanto no le afectan las variaciones de presión, temperatura ni densidad del fluido. La unidad completa incluye cuatro componentes básicos: el elemento sensible a la velocidad del flujo, el mecanismo del giroscopio integrador, el registrador ciclométrico y el accionador de contactos.

### 1.3.5 INSTRUMENTOS PARA MEDIDA DE NIVEL

El nivel es la distancia existente entre una línea de referencia y la superficie del fluido, generalmente dicha línea de referencia se toma como fondo del recipiente. El nivel es la variable que puede ser medida más fácilmente, pero existen otros factores, tales como viscosidad del fluido, tipo de medición deseada, presión, si el recipiente está o no presurizado, que traen como consecuencias que existan varios métodos y tipos de instrumentos medidores del nivel. El medidor de nivel seleccionado dependerá de nuestras necesidades o condiciones de operación.

Fotografía 4. Sensores de nivel GLI.



<http://www.paralab.pt/images/gli.ht7.gif>

#### 1.3.5.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE NIVEL

##### Método de presión diferencial

Para la medición de niveles en tanques al vacío o bajo presión pueden utilizarse los instrumentos de medición del flujo por métodos de presión diferencial. La única diferencia es que el instrumento dará una lectura inversa; es decir, cuando señale caudal cero en medidas de flujo, se leerá nivel máximo en medidas de nivel. Deben tomarse precauciones para obtener la correspondiente respuesta del instrumento. Por ejemplo, es posible utilizar medidores de rango compuesto.

Como estos instrumentos están diseñados para permitir el flujo en ambas direcciones, es posible utilizarlos para mediciones de nivel de líquido, teniendo la posición de cero en el interior de la gráfica, moviéndose la pluma hacia su borde con el aumento de nivel.

El principio de funcionamiento se basa en aplicarle al instrumento la presión existente en la superficie del líquido en ambas conexiones con la finalidad de anularla y que la presión detectada, sea la presión hidrostática, la cual como se ha visto, la podemos representar en unidades de nivel.

#### Método de presión relativa

Las mediciones de nivel basadas en la presión ejercida un líquido por su altura, implican que la densidad sea constante. El instrumento se debe calibrar para una densidad específica y cualquier cambio en ella trae consigo errores de medición.

El método más simple para medir el nivel de un líquido en un recipiente abierto, es conectar un medidor de presión por debajo del nivel más bajo que se va a considerar. Este nivel es, entonces, el de referencia y la presión estática indicada por el medidor es una medida de la altura de la columna del líquido sobre el medidor, y por lo tanto del nivel del líquido.

El medidor de presión, cuando se usa para mediciones de nivel de líquidos, se calibra en unidades de presión, en unidades de nivel de líquido correspondientes a la gravedad específica del líquido, o en unidades volumétricas calculadas según las dimensiones del recipiente. También se puede calibrar de 0 a 100, lo que permite lecturas en términos de tanto por ciento de nivel máximo.

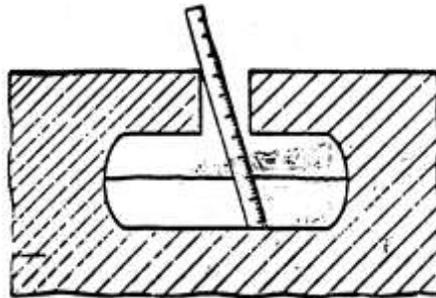
Para que el medidor lea cero cuando el líquido está en su nivel mínimo, a través

del elemento accionador debe haber una línea horizontal aproximadamente al mismo nivel que la línea de centros de la toma de la tubería de mínimo nivel. En el medidor se pueden usar tornillos de ajuste a cero para compensar pequeñas diferencias. Para controlar el límite, el medidor de presión puede ser un controlador, o puede estar ligado a un interruptor de presión. Cuando no se requiere una indicación de nivel, este último es suficiente.

#### Método de medición 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 lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el tanque debe estar abierto a presión atmosférica. Se utiliza generalmente en tanques de fuel oil o gasolina.

Figura 7. Medidor de sonda.



<http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/Image203.gif&imgrefurl=4562346>

#### Método indicador de cristal

Otra forma simple y quizás la más común de medir el nivel, es por medio del indicador de cristal. Estos tipos de indicadores sirven para varias aplicaciones y se pueden utilizar tanto para recipientes abiertos como para cerrados.

El indicador consiste de un tubo de vidrio, en el caso del indicador de bajas presiones y de un vidrio plano en el caso del indicador para altas presiones, montadas entre dos válvulas, las cuales se utilizan para sacar de servicio el indicador sin necesidad de parar el proceso.

#### Método de flotador-boya

Los instrumentos que utilizan un flotador-boya no dependen de la presión estática para medir el nivel de líquidos. De todos modos la presión estática debe tomarse en cuenta al proyectar el flotador; ya que siendo este hueco, ha de construirse lo suficientemente robusto como para soportarla sin deformarse. El flotador se suspende de una cinta sometida a leve tensión. Conforme aquel se desplaza arriba o abajo, siguiendo el nivel del líquido, arrastra la cinta la cual demuestra el estado de nivel.

#### Método capacitivo

El enfoque único de frecuencia inversa para la tecnología de medida capacitiva brinda mediciones exactas, fiables y repetibles, incluso entornos con gran concentración de polvo, vapor o con fuertes turbulencias y en casos de extrema acumulación de producto. Con hasta el más mínimo cambio de nivel crea una fuerte variación de frecuencia. En la actualidad, los sensores capacitivos se utilizan como detección de nivel y como medición continua, gracias a las sondas capacitivas.

#### Método ultrasónico

Los sistemas ultrasónicos presentan un amplio abanico de aplicaciones. Son una alternativa rentable y eficaz para monitorizar y controlar líquidos, lodos y sólidos

en aplicaciones de corto o largo alcance. La tecnología sin contacto ofrece ventajas de bajo mantenimiento.

### Método radar

La compleja tecnología de radar por impulsos y FMCW (tecnología de radar de frecuencia modulada y en onda continua) contribuyen a la medición fiable continua de nivel en aplicaciones de corto o largo alcance, incluso en condiciones difíciles, como temperaturas o presiones extremas, productos químicos agresivos, agitación, turbulencias, incrustaciones y aplicaciones difíciles con sólidos polvorientos.

## **1.4 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC'S)**

Los PLC's son controladores electrónicos, cuya lógica de control puede ser libremente programada; además puede ser útil como control maestro o esclavo según se necesite. Se encuentra dividido en dos partes, el hardware que está compuesto por la parte electrónica y el software que está compuesto por la programación o lógica de control.

Fotografía 5. PLC's Allen Bradley.

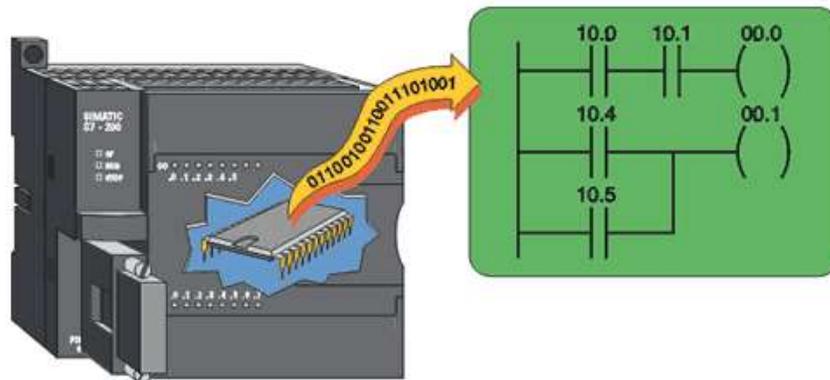


<http://www.lpc-uk.com/sst/asisc.jpg>

El hardware del PLC está formado por cuatro módulos, estos son, la CPU, la memoria, la comunicación con el proceso y la comunicación con el usuario.

- La CPU, es la unidad central de procesamiento del PLC; en esta unidad se decodifica y codifica toda la información existente, se toman decisiones y se ordenan las ejecuciones. Algunos parámetros que dependen de esta unidad son:
  - La velocidad de procesamiento
  - Capacidad de ejecución de multitareas
  - Capacidad lógica
  - Costo

Figura 8. CPU de PLC S7-200.



[http://www.sea.siemens.com/step/images/plcs/plc2/plc2\\_2\\_1.gif](http://www.sea.siemens.com/step/images/plcs/plc2/plc2_2_1.gif)

- La Memoria, es el lugar donde se almacena la información requerida para la ejecución del mando, esto se hace en unidades llamadas bits cuya agrupación forma palabras lógicas. Según la aplicación convendrá el tipo de memoria a utilizar, sin embargo un parámetro común entre ellas es que su tamaño se mide en Kbyte. La comunicación con el proceso, se da a través de las entradas y salidas del PLC y los sensores, válvulas y actuadores del proceso.

Algunos parámetros importantes que se deben tener en cuenta respecto a las entradas y salidas del PLC son:

- Velocidad de respuesta.
- Cantidad.
- Valores de voltaje y corriente.
- Tipo de señal que manejan (digital o analógica).

La comunicación con el usuario es aquella forma en que este puede intercambiar información con el PLC y esta dado por un protocolo de comunicación, se incluye dentro de esta comunicación el software requerido para programar el PLC.

#### **1.4.1 CLASIFICACIÓN**

Los PLC pueden ser clasificados de diferentes formas:

- Según su construcción pueden ser modulares o compactos. Los PLC que presentan estructura modular se dividen en partes que realizan funciones específicas; así, se tiene un módulo de fuente de alimentación, un módulo de CPU, un módulo de memoria, un módulo de entradas, un módulo de salidas, etc. Estos módulos generalmente son montados sobre una tarjeta de tipo backplane quedando interconectados a través de un bus de comunicación que posee la misma.
- Por otra parte se encuentran los PLC de estructura compacta que se distinguen por presentar en un mismo encapsulado todos los elementos que lo componen, es decir, todos y cada uno de los módulos que forman la estructura anterior se encuentran en un mismo instrumento. El montaje de este tipo de PLC al armario de control se hace por medio de un riel tipo DIN.

- Según su capacidad pueden ser de nivel uno, los cuales poseen control de variables discretas, pocas análogas y operaciones lógicas y aritméticas y de nivel dos, con control de variables discretas y análogas, operaciones lógicas y aritméticas con punto flotante, entradas y salidas inteligentes y gran capacidad de manejo de datos.
- Según la cantidad de entradas y salidas pueden ser micro PLC hasta 64 E/S, PLC pequeño con un rango de 65 a 265 E/S, PLC mediano ocupando un rango de 256 a 1023 E/S y PLC grande con más de 1024 E/S.

Fotografía 6. PLC's y HMI Siemens.



[http://www.cncdesign.com.au/img/products/imgright\\_plc01.jpg](http://www.cncdesign.com.au/img/products/imgright_plc01.jpg)

#### 1.4.2 VENTAJAS

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:
  - No es necesario dibujar el esquema de contactos.
  - No es necesario simplificar ecuaciones lógicas, ya que, por lo general, la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
- La lista de materiales queda muy reducida, y la elaborar el presupuesto correspondiente se elimina parte del problema que supone el contar con

- diferentes proveedores, distintos plazos de entregas, etc.
- Posibilidad de incluir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
  - Mínimo espacio de ocupación.
  - Menor costo de mano de obra de la instalación.
  - Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema al eliminar contactos móviles, los PLC's pueden detectar e indicar averías.
  - Posibilidad de manejar varias máquinas con un mismo PLC.
  - Menor tiempo para puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
  - En caso de que la máquina quede fuera de servicio, el PLC sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

### **1.4.3 DESVENTAJAS**

La principal y posiblemente, única desventaja que presenta este instrumento es la alta inversión inicial que debe hacerse debido a su alto costo; por esto es necesario realizar un análisis enfático para tomar una decisión acertada respecto a la selección de uno u otro sistema.

### **1.4.4 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN**

El PLC puede ser programado en cinco lenguajes, el más conveniente es seleccionado según a la aplicación y a las preferencias del programador, estos lenguajes son:

- Diagrama de bloques de funciones (FBD): Este diagrama es un lenguaje

de programación gráfico que es consistente, dentro de lo posible, con la documentación Standard IEC 617. Los elementos del diagrama de bloques de funciones son gráficamente representados por funciones y bloques de funciones, estos son interconectados por líneas de flujo de señal; los elementos directamente conectados forman una red. La dirección de flujo de señal en una red es de izquierda a derecha. Si una unidad de organización de un programa consiste en varias redes, estas se procesan en secuencia de arriba hacia abajo.

- Diagrama Ladder (LD): El lenguaje de diagrama ladder representa un lenguaje de programación gráfico. Los elementos disponibles en un diagrama ladder son contactos y bobinas en diferentes formas. Estos son puestos en escalones dentro de las líneas de voltaje ubicadas a los lados izquierdo y derecho de modo que cumplan la secuencia o labor deseada. Además de los contactos y bobinas, LD proporciona el uso ilimitado de funciones y de bloques de funciones, teniendo en cuenta el controlador usado.
- Lista de instrucciones: Este es un lenguaje de programación tipo assembler, sus instrucciones se parecen más estrechamente a los comandos procesados en un PLC. Un programa de control realizado en el lenguaje de lista de instrucciones consiste, como su nombre lo indica, en una serie de instrucciones, donde cada instrucción debe empezar en una nueva línea.
- Texto estructurado (ST): El lenguaje de texto estructurado presenta un tipo de lenguaje Pascal de alto nivel, el cual incorpora los conceptos fundamentales de un moderno lenguaje de alto nivel, en particular, los principios más importantes para la estructuración de datos e instrucciones. La estructuración de datos representa un componente común de los cinco lenguajes de programación; la estructuración de instrucciones, sin embargo, es solamente un rasgo importante del ST. Una expresión es un componente elemental para la formulación de instrucciones, esta se encuentra conformada por operadores y operandos; frecuentemente los operandos son datos,

variables o llamados de funciones.

- Mapa de funciones secuenciales: La IEC 1131-3 define al mapa de funciones secuenciales como una importante herramienta de programación para sistemas de control. Cada programa de un sistema de control secuencial consiste en pasos y transiciones. Aparte de esto, contiene también otra información importante acerca de la ejecución del programa y el tipo de continuación del programa.
- Si la ejecución del programa no es única, pero un camino individual será seleccionado de varios posibles caminos, la representación del mapa de funciones secuenciales ilustra esto de forma gráfica. La tarea fundamental de un mapa de funciones secuenciales es estructurar un programa de control en pasos y transiciones individuales interconectados por enlaces directos. Esto requiere una representación gráfica claramente reconocible la intención del programa.

#### **1.4.5 APLICACIONES INDUSTRIALES**

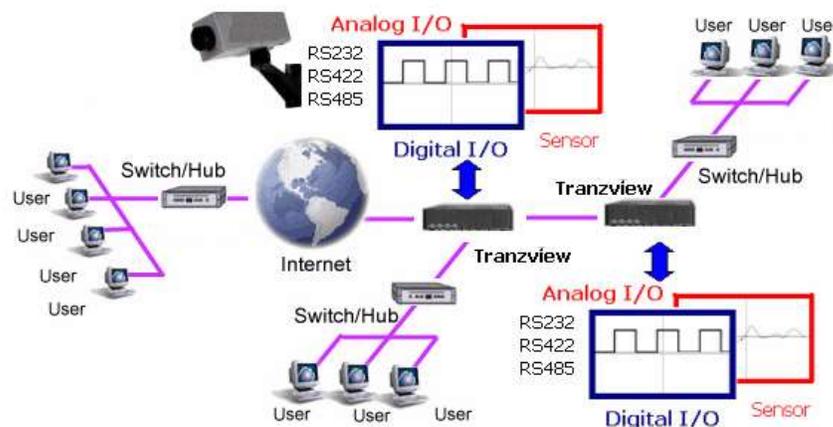
El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía continuamente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detecten en el campo de sus posibilidades reales.

Su uso se da fundamentalmente en aquellas instalaciones donde es necesario realizar procesos de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industrial de cualquier tipo al de transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

## 1.5 SISTEMAS SCADA

SCADA viene de las siglas de “Supervisory Control and Data Acquisition”, es decir: Adquisición de Datos y Control de Supervisión. Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (Controladores Programables, Instrumentación de Campo, otros sistemas SCADA, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto en el mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento entre otros.

Figura 9. Configuración típica red SCADA.



<http://www.internet-remotecontrol.net/data/Web-Base-SCADA.gif>

En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

### **1.5.1 PRESTACIONES**

Un paquete SCADA debe estar en disposición de ofrecer las siguientes prestaciones:

- Librerías con objetos predefinidos y módulos (bloques) de imágenes reutilizables de tipo BMP, GIF, JPEG, JPG, DIB, TIF, entre otros.
- Herramientas inteligentes para la creación sencilla de un proyecto, la configuración gráfica de una jerarquía de imágenes, de las trayectorias de movimientos así como la configuración de datos de masa.
- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o una situación de alarma, con registros de incidencias.
- Generación de históricos de señal de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anulan o modifican tareas asociadas al autómatas, bajo ciertas condiciones definidas.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.
- Soporte de configuraciones multilingües con traducción automática de textos y función de importación/exportación de textos.
- Se pueden desarrollar aplicaciones para ordenadores (Tipo PC, por ejemplo), con captura de datos, análisis de señales, prestaciones en pantalla, envío de resultado a disco e impresora, etc.

### **1.5.2 REQUISITOS**

Debe cumplir varios objetivos para que su instalación sea bien aprovechada.

- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades de la empresa.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables de usuario.

## **1.6 PROCESO DE ADQUISICIÓN, TRANSPORTE Y RECIBO DE MATERIA PRIMA EN FRESKALECHE BUCARAMANGA**

### Adquisición de la Materia prima (LECHE)

La empresa tiene en diferentes lugares aledaños a la fábrica de producción, sitios en donde se extrae y/o se concentra la leche para ser cuantificada. Este lugar se denomina “Centro de Acopio”; allí se concentra la leche que proviene de fincas de la misma empresa y de fincas privadas, para luego ser transportada.

Fotografía 7. Recepción de leche.



[http://www.puc.cl/sw\\_educ/prodanim/mamif/m17/f33siii9.jpg](http://www.puc.cl/sw_educ/prodanim/mamif/m17/f33siii9.jpg)

La unidad de comercialización estándar de leche es el litro, el cual es pagado

según el precio actual del mercado impuesto por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. La cuantificación de leche se realizaba mediante métodos geométricos de aforo (mediante una cinta en la pared del tanque indicando la cantidad estipulada según el nivel y las cantidades del mismo). Esta forma de medición conllevaba inconvenientes al momento de la facturación debido a la incertidumbre generada por la falta de exactitud.

### Transporte de la materia prima

El transporte de la leche se realiza mediante carros cisternas herméticos y de acero inoxidable cumpliendo así las normas higiénicas establecidas por el Ministerio de Protección Social de Colombia. La cantidad transferida de los Centros de Acopio a los carros cisternas se mide en referencia a dos puntos de aforo, el de los tanques de acopio y el del carro cisterna, aumentando así la posibilidad de error en la cantidad exacta de producto.

Fotografía 8. Carro cisterna.



De los autores.

Estos errores de medición generaban conflictos entre los encargados de los Centros de Acopio, los transportadores y la gente encargada del recibo de

materia prima en la planta de producción, por la cual fue necesario actuar como intermediario entre las partes, dando un solo punto de referencia en la cuantificación de leche, aplicado durante el proceso de recepción.

### Recepción de la Materia Prima en la Fábrica de Producción

Se preparan para la llegada de los carros cisternas que llegan remisionados con cierta cantidad de leche, siendo evaluada durante el ingreso y descarga hacia los tanques de recibo, dando como resultado una verificación de cantidad y una factura de recibo de materia prima.

Fotografía 9. Remisión Leche cruda.



De los autores.

La medición para la evaluación se realizaba de la misma manera que los centros de acopio, utilizando un método geométrico. Dando así la medida de referencia para el inventario de producción que afectan el precio de la leche al consumidor.

### Inicio de Producción

El tanque de Recibo, es el tanque que almacena la materia prima de la fábrica, a

partir de este se direcciona la leche a distintos lugares y/o procesos según el producto final:

- *Leche Pasteurizada:* Leche la cual no se somete a ningún comportamiento y/o proceso riguroso, la cual es producida y vendida directamente del tanque de recibo. Tiene una duración de 3 -5 Días.
- *Leche Ultra - Pasteurizada:* Leche la cual se somete ante un proceso de esterilización, la cual eleva y baja la temperatura de la misma, hasta llegar a un punto de constancia, dándole larga vida a la leche. Tiene una duración de 12 – 15 Días.
- *Derivados de la leche:* productos tales como el queso, kumis, arequipe entre otros, que resultan de la mezcla de leche con otras sustancias.

### Venta y Distribución del producto

Proceso final de producción, etapa donde se comercializa y se vende al público los productos terminados, a un precio regulado según materia prima utilizada y costos de proceso.

Fotografía 10. Productos Freskaleche.



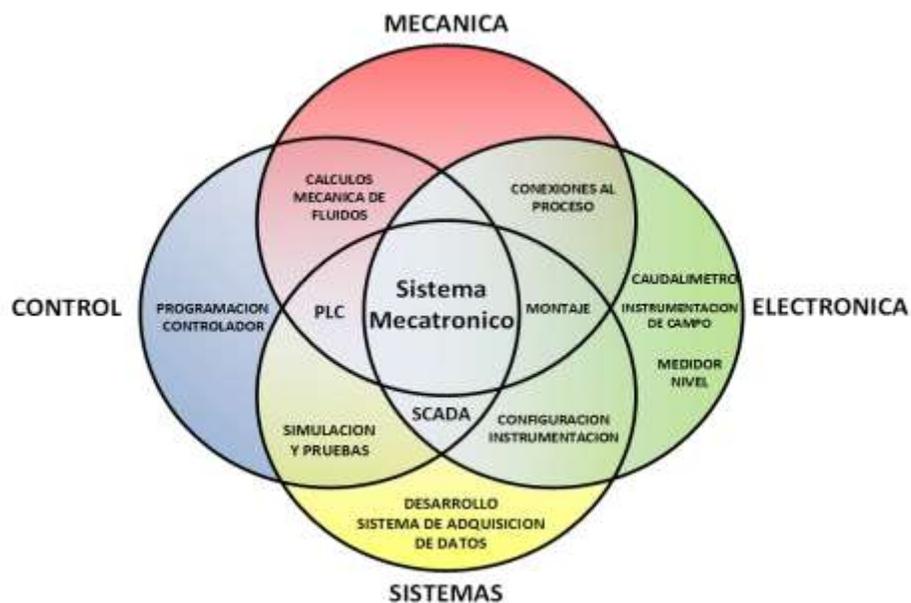
<http://d12545796.1157.laredglobal.com/default2.asp>

## CAPITULO 2. DISEÑO GENERAL

### 2.1 METODOLOGÍA DEL DISEÑO MECATRÓNICO

En la metodología se habla sobre el esquema con el cual la ingeniería mecatrónica basa sus conocimientos y aplicaciones. Es un diseño donde los ingenieros mecatrónicos hacen una sinergia de sistemas y se evalúa sobre estos para obtener un producto o servicio factible.

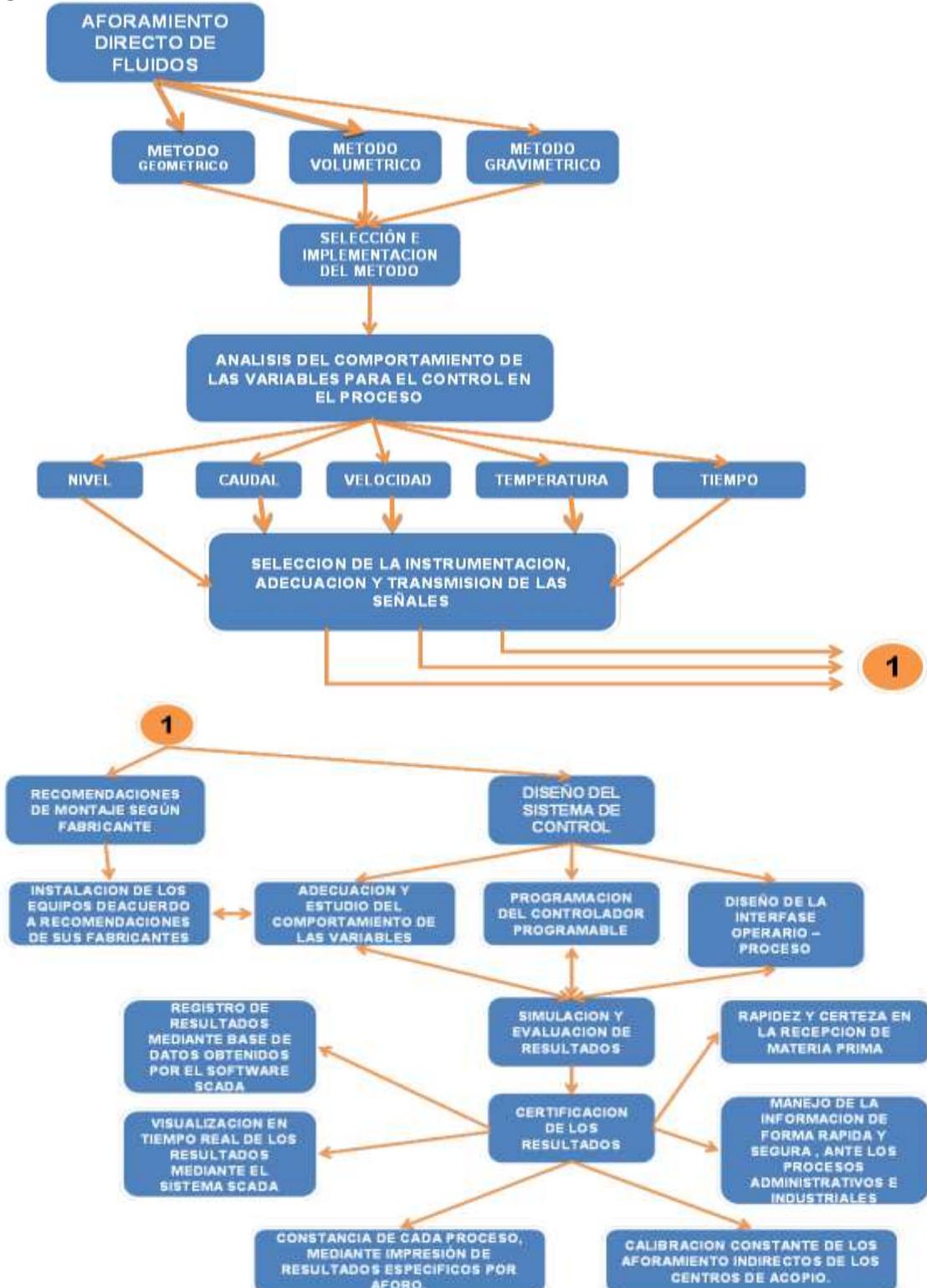
Figura 10. Metodología del Diseño Mecatrónico.



De los autores.

La Metodología mecatrónica desarrollada tiene como finalidad la implementación de un sistema de aforamiento directo de fluidos para la cuantificación del consumo de materia prima en Freskaleche. A continuación en la Figura 11 se encuentra desplegada esta misma en pasos o caminos con la cual se obtuvo el sistema mecatrónico.

Figura 11. Diseño Mecatrónico.



De los autores.

## **2.2 ESPECIFICACIONES REQUERIDAS DE LOS EQUIPOS.**

Después de estudiar el comportamiento, las condiciones de funcionamiento (Temperatura, Rangos de Medida, etc.) e instalación de los equipos se planteo una lista de condiciones mínimas para asegurar el eficiente desempeño de estos.

### Instrumentación para la medición de Nivel y Caudal

- a)** Rango de Medida de Nivel: 0,2-3 metros.
- b)** Rango de Medida de Caudal: 0-99.000 Litros
- c)** Precisión: 0,1-0,25 %
- d)** Tipo de Salida: Análoga (4–20 mA, 0–10 Vdc) y/o Pulsos 0-10kHz.
- e)** Compensación por Temperatura.
- f)** Rango de Temperatura de Funcionamiento: -5–35°C.
- g)** Visualización con display: Compacto ó Remoto.
- h)** Uniones al Proceso: en Acero Inoxidable.
- i)** Tipo de Protección requerida: IP65 (sin penetración de polvo y protección contra chorros de agua).
- j)** Documentación y manuales de equipo.
- k)** Soporte técnico por parte de la empresa fabricante.

### Controlador lógico programable

- a)** Operaciones de 32 bits (Números Reales en coma flotante).
- b)** Entradas/Salidas Digitales: 6/4 a 24 Vdc.
- c)** Entradas Análogas: 2 Entradas análogas (4–20 mA, 0–10 Vdc).
- d)** Comunicación: con sistemas SCADA por interfases Profibus DP o serial.
- e)** Contadores rápidos: 0-10kHz.
- f)** Programación por medio de software.

- g)** Tipo de protección: IP50 (Protegido contra polvo - entrada limitada permitida)
- h)** Documentación y manuales de equipo.
- i)** Soporte técnico por parte de la empresa fabricante.

### Sistema SCADA

- a)** Funcionamiento bajo sistema operativo: Windows 2000/XP
- b)** Comunicación con el PLC seleccionado.
- c)** Visualización en tiempo real.
- d)** De arquitectura abierta.
- e)** Manejo de imágenes del proceso.
- f)** Generador de históricos.
- g)** Opción de impresión de archivo.
- h)** Fácil operación con interfaces amigables al usuario.
- i)** Módulos de proceso para ejecutar acciones.
- j)** Soporte técnico por parte de la empresa fabricante.

## **2.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS**

### **2.3.1 INSTRUMENTACIÓN**

#### Sensores de Nivel

Los criterios de selección en la cual se baso la elección del equipo a utilizar, fueron las condiciones mencionadas anteriormente y que fueron dadas por FreskaLeche, y como criterio final de selección se tuvo en cuenta factores como el precio y soporte técnico ofrecido por parte del proveedor.

Tabla 2. Selección Equipos de Medidores de Nivel.

PROVEEDOR	PRODUCTO	RANGO DE MEDIDA (m)		PRECISION (%)		SALIDA ANALOGA (4-20 mA, 0-10 Vdc)		RANGO DE TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO (°C)		VISUALIZACION CON DISPLAY		UNIONES AL PROCESO (ACERO INOXIDABLE)		IP 65 (SIN PENETRACION DE POLVO)		DOCUMENTACION		SOPORTE TECNICO POR PARTE DEL PROVEEDOR		PRECIO (\$USD)
		MIN	MAX	SI	NO	MIN	MAX	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO			
		MJK Automation A/S	Shuttle	0,1	15	0,2	X	-20	60	X		X		X		X				
Pepperl-Fuchs	LUC	0,3	4	0,5	X	-25	70		X		X	X			X		X			720
Pepperl-Fuchs	Serie LUCTX	0,3	15	0,3	X	-40	80		X	X		X		X				X		
FINETEK	Ultrasonico	0,3	50	0,25	X	-20	60	X		X		X		X		X		X		1.500
Siemens	The Probe	0,25	5	0,2	X	-20	70	X		X		X		X		X		X		750
Siemens	XRS	0,25	5	0,15	X	-20	80	X		X		X		X		X		X		1.130

De los autores.

El Equipo seleccionado fue el equipo The Probe marca Siemens, gracias a que cumple con los requisitos necesarios y ofrece un servicio post venta, lo que lo hace un equipo fiable de utilizar; aunque la principal característica que llevó a la elección de medición por ultrasonido es que se puede usar en cualquier tipo de tanque y la densidad del líquido se presta para trabajar con este tipo de sensor, además es posible obtener una mayor precisión.

Por otra parte el diseño de The Probe, hace que éste sea fácil de instalar, programar y mantener.

Fotografía 11. The Probe.



Catalogo FI 01 de Siemens.

### Caudalímetros

Cada método para medir caudal tiene sus características particulares y cada uno de los puntos de medida ha de cumplir las especificaciones del cliente. En la siguiente tabla se muestra una comparación de los diversos caudalímetros de diferentes proveedores para ayudar a elegir el aparato adecuado.

Tabla 3. Selección de Caudalímetro.

PROVEEDOR	PRODUCTO	PRECISION (%)	SALIDA ANALOGA (4-20 mA, 0-10 Vdc)		RANGO DE TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO (°C)		VISUALIZACION CON DISPLAY		UNIONES AL PROCESO (ACERO INOXIDABLE)		IP 65 (SIN PENETRACION DE POLVO)		DOCUMENTACION		SOPORTE TECNICO POR PARTE DEL PROVEEDOR		PRECIO (\$USD)
			SI	NO	MIN	MAX	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
ABB	FSM4000	0,5	X		-40	130	X		X		X		X		X		4.200
Endress+Hauser	Promag 23 H	0,5	X		-35	150	X		X		X		X		X		3.500
KEM	SRZ	0,25	X		-60	150	X		X	X			X		X		NO COTIZADO
EMERSON	MM Serie H	0,1	X		-100	180	X		X		X		X		X		7.200
Siemens	MAGFLOW	0,25	X		-20	60	X		X		X		X		X		4.500
Siemens	MASSFLOW	0,1	X		-20	60	X		X		X		X		X		6.500

De los autores.

El criterio fundamental de selección del caudalímetro fue Precio y Precisión, el proveedor Siemens, SITRANS F M MAGFLOW MAG6000 fue la escogida, debido al cumplimiento de los requerimientos, su fácil instalación, su flexibilidad, posibilidad de ampliación con módulos de comunicación Plug & Play con amplios protocolos de bus, la puesta en marcha sencilla, manejo de registros, su estructura robusta y materiales resistentes, entre otras lo hicieron el más ocionado y asequible.

Fotografía 12. MagFlow 6000.



Catalogo FI 01 de Siemens.

### **2.3.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE**

El PLC seleccionado es un S7-200 marca Siemens; la CPU seleccionada es una 224 XP, su elección se debe principalmente a que esta tiene un reloj en tiempo real que facilita el muestreo que se realiza para obtener la tabla de capacidad en intervalos de un minuto; también la velocidad de ejecución booleana es de  $0.22\mu\text{s}/\text{operación}$ , lo cual proporciona una amplia fiabilidad. Las CPUs de la misma marca de gama inferior no presentan el reloj en tiempo real y las de gama superior tiene un precio más alto.

Tabla 4. Selección de PLC.

PROVEEDOR	PRODUCTO	MÓDULOS DE EXPANSIÓN	ENTRADAS / SALIDAS DIGITALES				ENTRADAS / SALIDAS ANALOGAS				PUERTOS DE COMUNICACIÓN	OPERACIONES DE 32 BITS		CONTADORES RÁPIDOS (0-100KHz)		IP 65 (SIN PENETRACION DE POLVO)		DOCUMENTACION		SOPORTE TECNICO POR PARTE DEL PROVEEDOR		PRECIO (\$COL)
			DI	DO	AI	AO	SI	NO	SI	NO		SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO			
Siemens	S7-200 CPU224 XP	EM235 Analogas									RS 485 (PPI, MPI) Profibus DP Esclavo											\$ 3500.000
		EM277 Profibus																				
		Programador: MicroWin	14	10	6	2						X		X		X		X		X		
		Cable PPI Programador																				
ALLEN BRADLEY	SLC 500	1746-N4 Analogas									RS 232 DeviceNet											\$ 8200.000
		1746-IG16/OB16 Digitales	16	16	4	0						X		X	X			X		X		
		Programador: RS Logix 500																				
		No necesita cable																				
FESTO	FC34	Programador: FST	12	8	X	X					Ethernet		X	X	X			X		X		\$ 2500.000
		No necesita cable																				

De los Autores.

### 2.3.3 SISTEMAS SCADA

A continuación una pequeña información de algunos de los sistemas SCADA más influyentes y utilizados en la industria actualmente:

FABRICANTE: National Instruments

PRODUCTO: LabView

Ofrece un ambiente de desarrollo gráfico con una metodología muy fácil de dominar por ingenieros y científicos. Con esta herramienta se pueden crear fácilmente interfaces de usuario para la instrumentación virtual sin necesidad de elaborar código de programación. Para especificar las funciones sólo se requiere construir diagramas de bloque. Se tiene acceso a una paleta de controles de la

cual se pueden escoger desplegados numéricos, medidores, termómetros, tanques, gráficas, etcétera, e incluirlas en cualquiera de los proyectos de control que se estén diseñando.

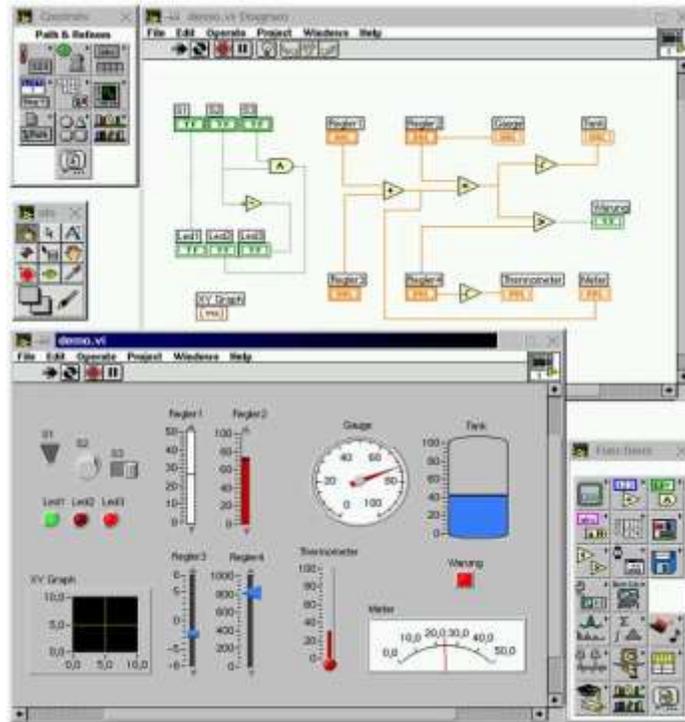
Se basa en un modelo de programación de flujo de datos denominado G, que libera a los programadores de la rigidez de las arquitecturas basadas en texto. Es también, a decir de NI, el único sistema de programación gráfica que tiene un compilador que genera código optimizado, cuya velocidad de ejecución es comparable al lenguaje C.

Los desarrollos construidos son plenamente compatibles con las normas VISA, GPIB, VXI y la alianza de sistemas VXI Plug & Play. Para facilitar aún más la operación de este producto se cuenta con la inclusión de una herramienta asistente capaz de detectar automáticamente cualquier instrumento conectado a la computadora, instalando los drivers apropiados y facilitando la comunicación con el instrumento al instante.

Aunque inicialmente fue creado para construir instrumentación virtual (osciloscopios, generadores de función, voltímetros, etc.), gracias a la amplia disponibilidad de tarjetas de adquisición de datos y a la facilidad de construir aplicaciones en un ambiente gráfico, las últimas versiones se han utilizado ampliamente para desarrollar aplicaciones en el control de procesos.

Recientemente, NI introdujo la versión de LabView 6i, que es la combinación de las funciones tradicionales del producto combinadas con algunas herramientas para el ambiente de Internet. Es el caso del LabView Player, un agregado que facilita ejecutar las aplicaciones por la red sin necesidad de contar con el producto LabView completo.

Figura 12. LabView.



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

FABRICANTE: Siemens  
PRODUCTO: WinCC Flexible 2005

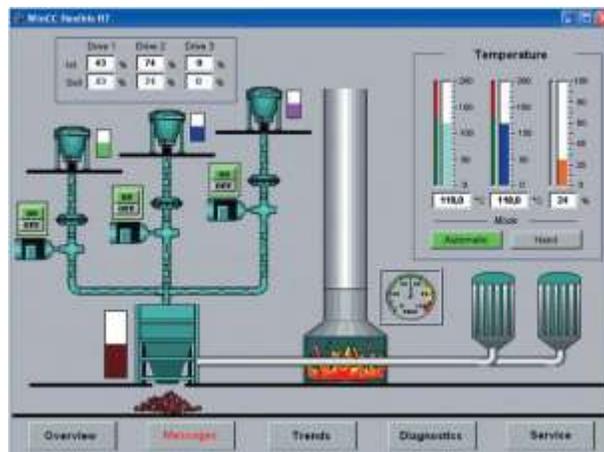
SIMATIC WinCC® flexible es el software HMI innovador para todas las aplicaciones a nivel de máquina y de proceso en la construcción de instalaciones, maquinaria y la construcción de máquinas en serie. El software de ingeniería permite la configuración continua y homogénea de todos los equipos SIMATIC HMI.

WinCC flexible significa máxima eficiencia de configuración: De librerías con objetos pre configurados, módulos de imagen reutilizables, herramientas inteligentes hasta la traducción automatizada de textos en proyectos multilingüe.

WinCC flexible Runtime ofrece la funcionalidad básica HMI en PCs a un precio atractivo - incluyendo un sistema de alarmas e informes – y, en su caso, puede ser ampliado puntualmente mediante opciones. Las funciones Runtime disponibles en los equipos SIMATIC HMI (Paneles, Mobile Paneles y Multi Paneles) dependen de la clase de equipo.

Los conceptos basados en los paquetes Sm@rtClients y Sm@rt Server permiten un acceso global (a todo el sistema) a las variables e imágenes, estaciones de operador distribuidas y funciones de telemando y diagnóstico vía la Web – también en combinación con Paneles SIMATIC.

Figura 13. WinCC Flexible 2005.



[www.siemens.com/wincc-flexible](http://www.siemens.com/wincc-flexible)

FABRICANTE: Rockwell Automation

PRODUCTO: RSVIEW32

Este software MMI para monitorear y controlar máquinas automatizadas y procesos está diseñado para operar en el ambiente de MS Windows 2000 con soporte para idioma español. Es completamente compatible con contenedores OLE para ActiveX, lo que facilita la inclusión de controles de este tipo

suministrados por terceros. Incluye VBA, Visual Basic para aplicaciones como parte integrante de sus funciones, de modo que posibilita maneras ilimitadas de personalizar los proyectos.

Su compatibilidad con la tecnología cliente/servidor OPC le permite comunicarse con una amplia variedad de dispositivos de hardware. El producto se complementa con RSView32 Active Display System y RSView32 WebServer (el primero para ver y controlar los proyectos RSView32 desde localidades remotas y el segundo para que cualquier usuario autorizado pueda acceder a gráficas, etiquetas y alarmas mediante el uso de un navegador de Internet convencional).

Figura 14. RsView32



<http://www.software.rockwell.com/>

## 2.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE EQUIPOS

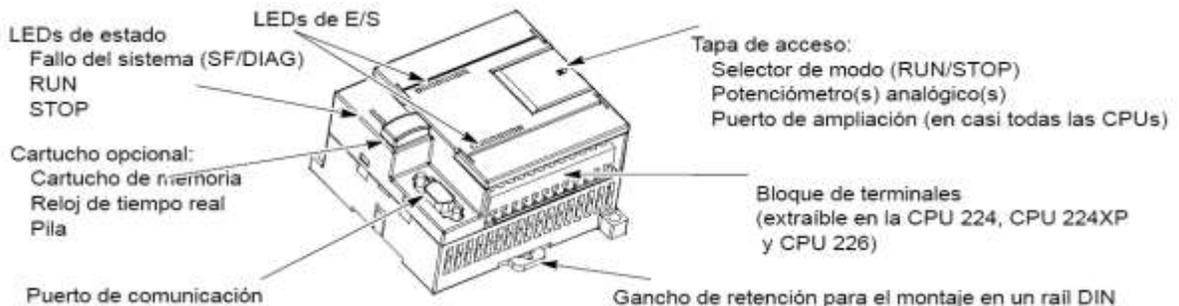
Los criterios para la selección de los equipos fueron:

- Cumplimiento de Requisitos
- Economía
- Soporte Técnico por parte de los fabricantes.

La empresa SENSOMATIC & CIA LTDA es la empresa que suministro los equipos necesarios para el desarrollo, siendo el canal entre Freskaleche y los autores del proyecto. Esta empresa es Integradora autorizada de SIEMENS Colombia en las divisiones de Automatización e Instrumentación brindándonos un servicio viable para el desarrollo del proyecto.

El PLC seleccionado es un S7-200 marca Siemens; la CPU seleccionada es una 224 XP, su elección se debe principalmente a que esta tiene un reloj en tiempo real que facilita el muestreo que se realiza para obtener la tabla de capacidad en intervalos de un minuto. Por otra parte, la velocidad de ejecución booleana es de  $0.22\mu\text{s}/\text{operación}$ , lo cual proporciona una amplia fiabilidad. Las CPUs de la misma marca de gama inferior no presentan el reloj en tiempo real y las de gama superior tiene un precio más alto.

Figura 15. PLC S7-200.



Manual del Sistema de Automatización S7-200 / Siemens.

THE PROBE 7ML1201-1AF00: Sensor ultrasónico para la medición de nivel marca SIEMENS. La principal característica que llevó a la elección de medición por ultrasonido es que se puede usar en cualquier tipo de tanque y la densidad del líquido se presta para trabajar con este tipo de sensor<sup>5</sup>, además es posible obtener una mayor precisión. Por otra parte el diseño de THE PROBE, hace que

<sup>5</sup> Field Instruments for Process Atomation. Ver Bibliografía.

éste sea fácil de instalar, programar y mantener.

Para la medición de caudal, se acopla a la estructura y al producto es *SITRANS FM*, *MAGFLOW MAG6000*, que se ubica en la conexión del carro cisterna al sistema de descarga del mismo, disminuyendo la tolerancia de perdidas por tubería. Los Caudalímetros MAGFLOW son los mejores porque:

- Mayor Flexibilidad
  - Amplia gama de productos.
  - Instalacion compacta o remota utilizando los mismos transmisores y sensores.
  - Plataforma de comunicaciones USM II para facilitar la integración de todos los sistemas.
- Puesta en marcha más sencilla
  - La memoria interna SENSORPROM permite la lectura instantánea desde el momento del encendido.
  - Las configuraciones definidas por el usuario se guardan automáticamente en la SENSORPROM.
- Operación y mantenimiento mas fáciles.
  - Sin partes móviles.
  - Estructura robusta y materiales resistentes.
  - Interfaz de usuario uniforme para todos los productos MAGFLOW.
- Posibilidad de ampliación.
  - Se dispone de módulos de comunicaciones Plug & Play para una amplia gama de protocolos de bus.
  - Los módulos de comunicaciones adicionales permiten ampliar funcionalidades sin necesidad de sustituir el caudalímetro.
- Diagnostico: de la aplicación y de la medición.
  - Información en texto y registro de errores.

- Niveles de error: funcional, alarma, permanente y grave.
- Autocomprobación del convertidor, incluyendo las salidas y la precisión.
- Comprobación del sensor.
- Alarma por alto caudal.
- Tubería vacía, llenado parcial, conductividad baja, electrodo sucio.
- Compensación por temperatura.

En el sistema SCADA se uso el WinCC flexible como software scada, ya que es ideal para esta tarea y demas aficciones a nivel de maquina y procesos. Esta concebido para soluciones y aplicaciones universales en los más diversos sectores, ofreciendo software de ingeniería para equipos SIMATIC HMI (Human Machine Interface). Las posibilidades de acoplamiento garantizan su conexión a las mas diversas soluciones de automatización, tales como:

- a SIMATIC S7 vía PPI, MPI, PROFIBUS DP y PROFINET (TCP/IP),
- drivers para PLCs de los fabricantes más importantes (Allen Bradley, Omron, Mitsubishi, Festo, entre otros),
- y comunicación no propietaria vía OPC, con otros sistemas SCADA como LabView, RsView.

## 2.5 LISTA DE EQUIPOS

Tabla 5. Lista de equipos.

Item	Descripción
	<b>Sistema de Control:</b>
1	Fuente Logo! 24VDC (1.3 Amperios)
2	PLC S7200, CPU 224XP Alimentación 110/220 VAC, 14

3	Entradas Digitales, 10 Salidas a Relé, 2 Entradas Análogas, 1 Salida Análoga, 2 Puertos de Comunicación MPI/PPI Modulo Análogos para S7200, EM235, 4 Entradas Análogas, 1 Salida Análoga
4	Modulo Comunicación PROFIBUS DP, EM277 Sistema Esclavo para comunicaciones Tipo PROFIBUS DP
<b>Instrumentación:</b>	
4	Sensor de Nivel Ultrasónico, THE PROBE (MILLTRONICS)
5	Caudalimetro Electromagnético, SITRANSF F M MAGFLO, MAG6000 (SIEMENS)
<b>Sistema de Adquisición de Datos:</b>	
6	Interface de Comunicación, Tarjeta CP5611
7	Software de Visualización, WinCC Flexible Runtime, 128 PowerTags
<b>Software Utilizado:</b>	
8	Programador PLC S7200, Step 7 - MicroWin
9	Desarrollador SCADA, WinCC Flexible Advance

De los autores.

## CAPITULO 3. DESARROLLO Y PRUEBAS

### 3.1 DESCRIPCION TECNICA

La Implementación de la metodología de Aforamiento desarrollada en este documento, se encuentra conformada por los siguientes sistemas.

- Software SCADA (HMI), *WinCC Flexible*, para mando y supervisión del proceso, la cual mantiene comunicación mediante PROFIBUS DP con el PLC S7-200 (PLC de gama baja de la línea Simatic de SIEMENS), por medio de una interface y/o tarjeta *CP 5611* para Comunicaciones tipo PROFIBUS/MPI/PPI.

Fotografía 13. Programa presentado.

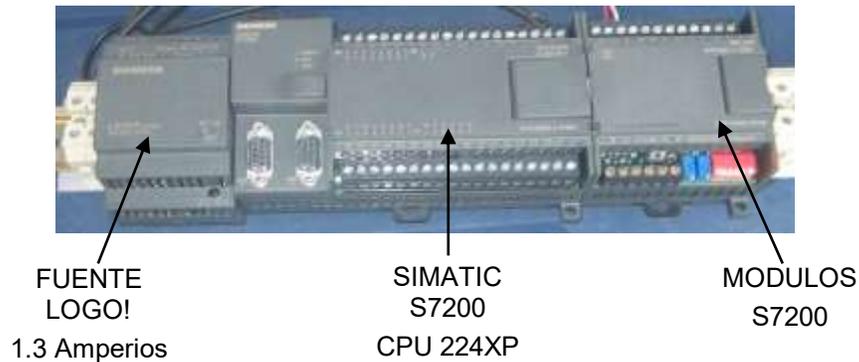


De los autores.

- Controlador Lógico Programable (PLC), *SIMATIC S7200*, para la adecuación de las señales para la Certificación de Aforo. Envío de estas hacia la red PROFIBUS DP utilizando un modulo de comunicación *EM277*.

- Fuente de Alimentación para los sensores y controladores del Sistema de Aforo.

Fotografía 14. Equipos montados.



De los autores

- Registro de los datos en hojas de cálculo (*Microsoft Office EXCEL*), en el computador donde se encuentra el sistema SCADA.
- Sensor Ultrasónico de Nivel (*THE PROBE*), que se ubica en la parte superior del carro cisterna por compartimiento, certificando la cantidad de litros en relación con el nivel del compartimiento.

Fotografía 15. The Probe.



De los autores.

- Caudalímetro Electromagnético y Convertidor de Señal (*SITRANS F M, MAGFLOW MAG6000*), ubicado en la tubería antes del tanque de recibo y en la conexión del carro cisterna al sistema de descarga del mismo, lo que me disminuye la tolerancia de perdidas por tubería.

Fotografía 16. Sitrans.



SENSOR  
ELECTROMAGNÉTICO

De los autores.

Fotografía 17. MAGFLOW.



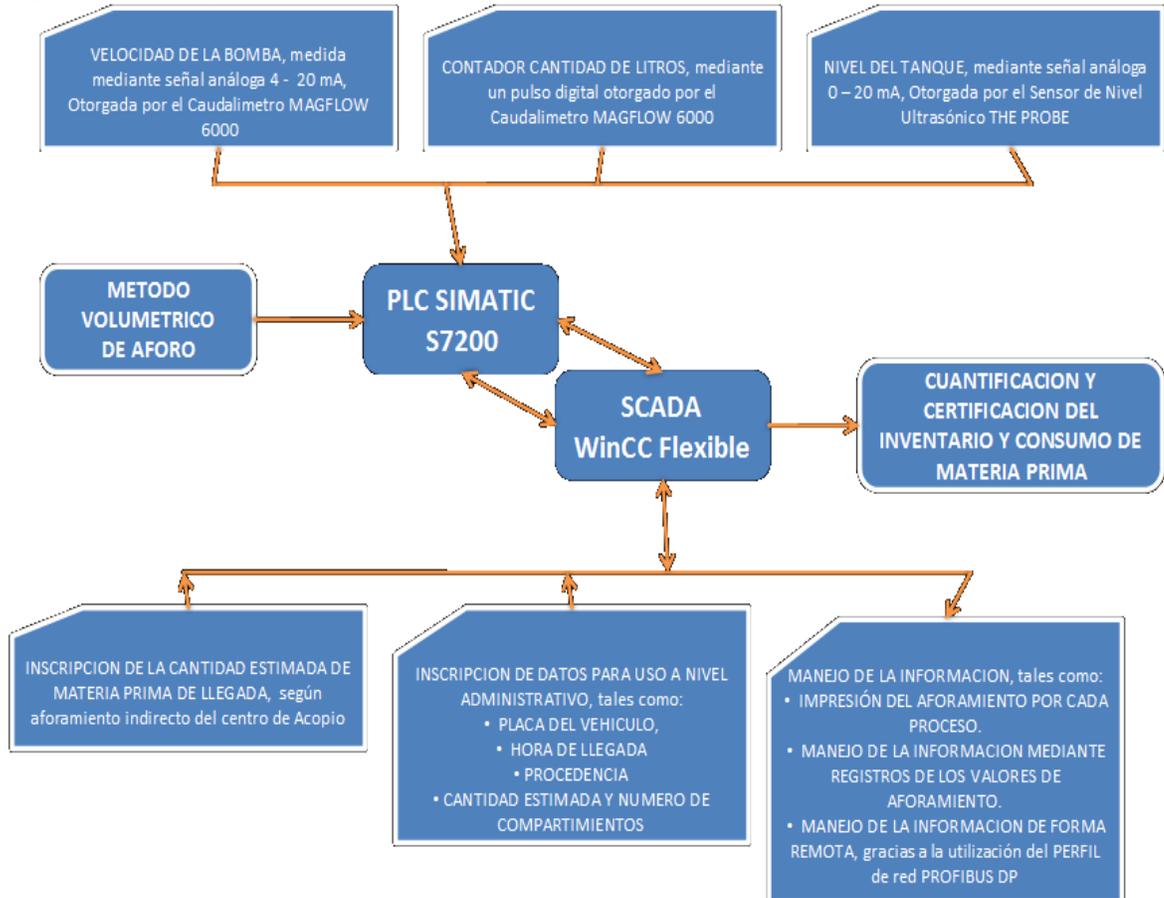
SENSOR  
ELECTROMAGNETICO  
CON EL CONVERTIDOR DE  
SEÑAL

De los autores

### 3.2 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

El esquema mostrado en la Figura 13, ilustra el algoritmo de funcionamiento del sistema de aforo, haciendo mención a los sistemas de control y visualización.

Figura 16. Esquema de funcionamiento.



De los autores.

Una vez encendido el PLC y activado el sistema SCADA, se alimentan los sensores empezando a captar las señales respectivas, y se realizando la comunicación entre el PLC – SCADA.

Cuando llega un vehículo a la zona de recibo, se parque en una zona horizontal

para extraer muestras la cual me indican la temperatura y estado de la materia prima. Y se visualiza si el vehículo se encuentra en la punto de Aforo (Línea que me garantiza el nivel máximo del Tanque), en caso de no estarlo se dispone a calcular la cantidad de litros de diferencia para llegar a la Línea de Aforo.

Fotografía 18. Sobre el tanque.



De los autores.

Luego de la Toma de Muestras y la visualización del nivel del tanque se dispone a ubicar el vehículo en la zona de aforo, y luego se dispone a colocar el sensor de nivel en el compartimiento con la cual se iniciara la descarga.

Fotografía 19. Montaje Probe.



De los autores.

Una vez se registra la entrada y los datos de un vehículo, el sistema inicia y almacena los datos en el Documento Excel iniciando así al Aforo.

Capturando la hora de llegada, y la cantidad Estimada de material que llega a la Fábrica. Esta información se guarda en el sistema SCADA, en la base de Datos

Fotografía 20. Observación.



De los autores.

Cuando el Vehículo se encuentra ubicado en la zona de aforo, se conecta a la tubería del proceso y se da arranque a la bomba para iniciar el descargue.

Luego de Descargar cada compartimiento se procede a revisar y a dar impresión del informe de aforo, la cual se da al chofer de vehiculo y a la empresa.

Con los valores de este informe se procede a cancelar la cantidad exacta de materia prima ingresada por el auto y la cantidad que litros que se encuentran en el Tanque de Recibo de las Instalaciones. Conociendo así, el inventario y la cantidad de materia prima ingresado a la fábrica.

### 3.3 DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL

#### 3.3.1 SOFTWARE PROGRAMADOR STEP 7 – Micro/Win

El paquete de programación STEP 7-Micro/WIN constituye un entorno de fácil manejo para desarrollar, editar y observar el programa necesario con objeto de controlar la aplicación. STEP 7-Micro/WIN comprende tres editores que permiten desarrollar de forma cómoda y eficiente el programa de control.

##### Requisitos del sistema:

STEP 7-Micro/WIN se puede ejecutar en un ordenador (PC), o bien en una unidad de programación de Siemens (por ejemplo, en una PG 760). El PC o la PG deberá cumplir los siguientes requisitos mínimos:

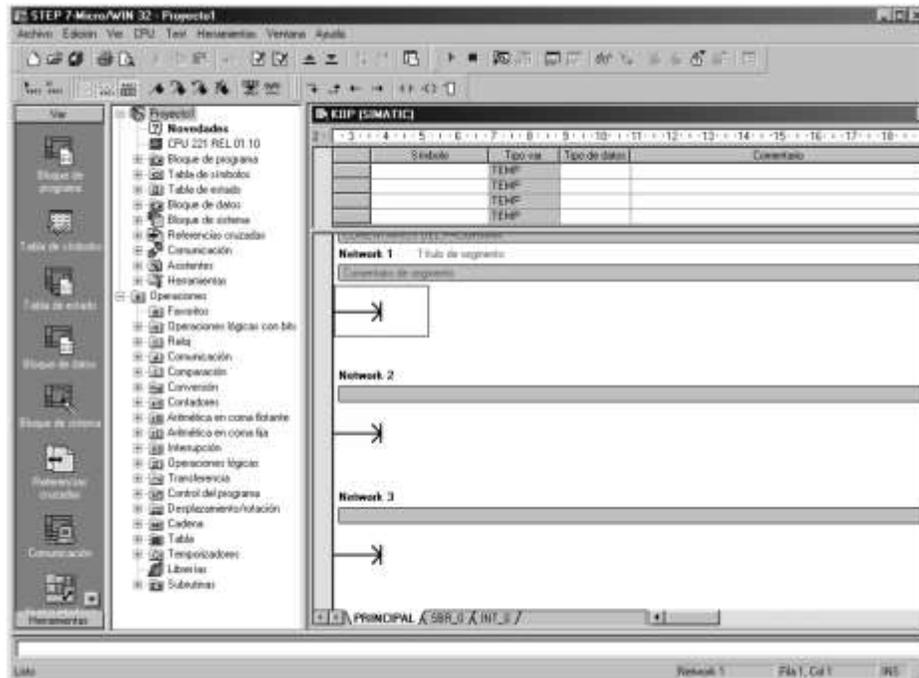
- Sistema operativo: Windows 2000, Windows XP (Professional o Home)
- 100 MB libres en el disco duro (como mínimo)
- Ratón (recomendado)

Figura 17. Uso del STEP 7 Micro/Win.



Manual del Sistema de Automatización S7-200 / Siemens.

Figura 18. STEP 7 Micro/Win.



Manual del Sistema de Automatización S7-200 / Siemens.

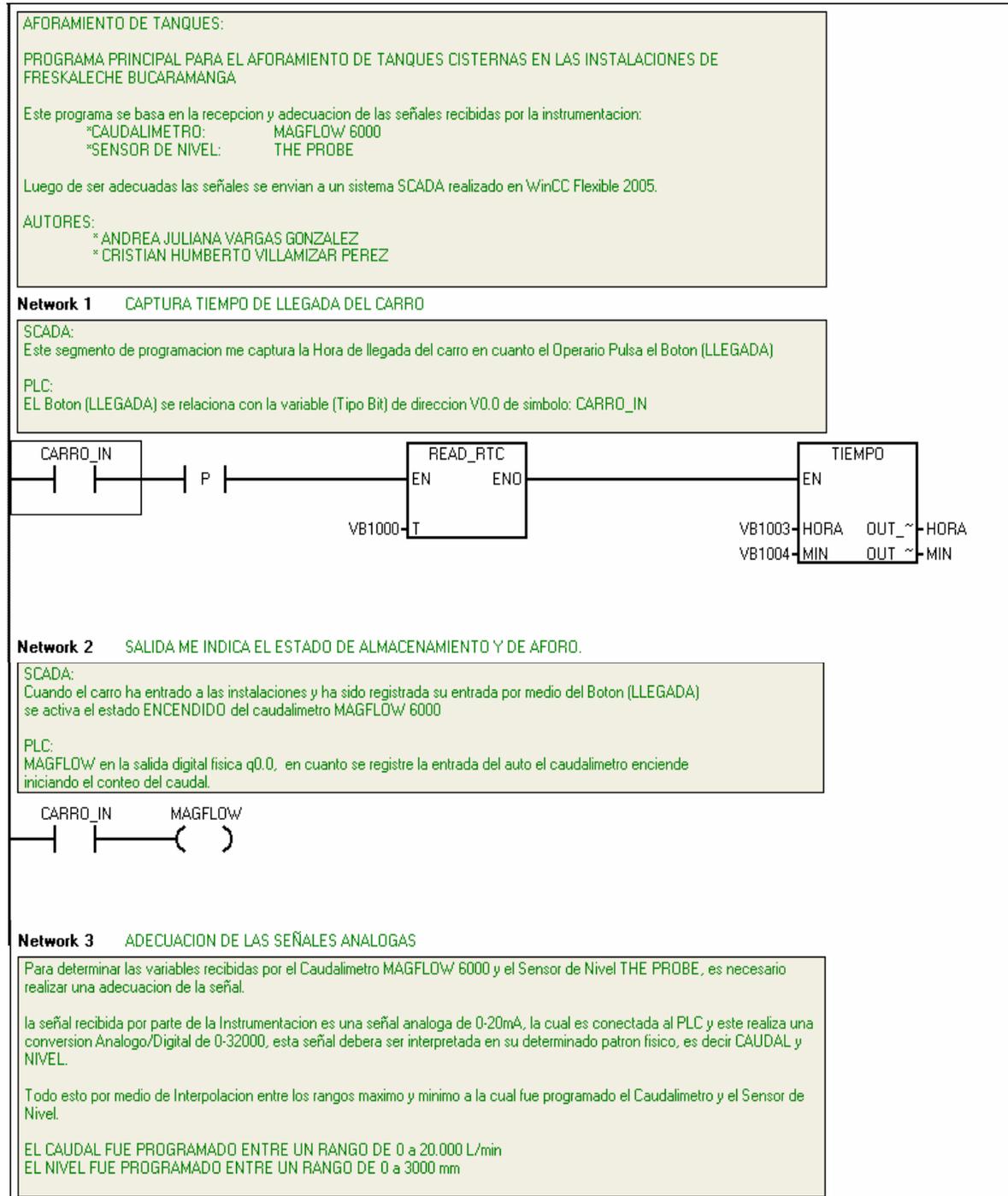
### Opciones de Comunicación

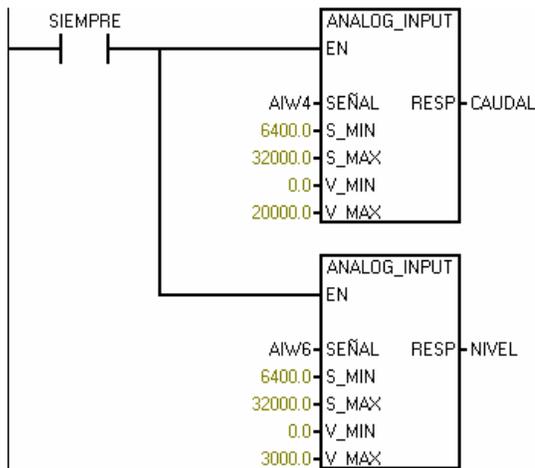
Siemens ofrece dos opciones de programación para conectar el PC al S7-200, a saber: una conexión directa vía un cable PPI multimaestro, o bien un procesador de comunicaciones (CP) con un cable MPI.

El cable de programación PPI multimaestro es el método más usual y más económico de conectar el PC al S7-200. Este cable une el puerto de comunicación del S7-200 con el puerto serie del PC. El cable de programación PPI multimaestro también se puede utilizar para conectar otros dispositivos de comunicación al S7-200.

### 3.3.2 PROGRAMACIÓN DEL PLC

Figura 19. Programa.

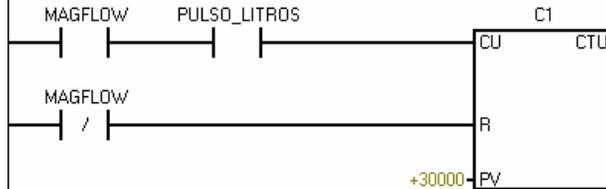




**Network 4** CONTADOR RAPIDO DE LITROS TOTALES

El caudalímetro electromagnético MAGFLOW 6000 posee una salida digital de 0-10Khz la cual envía pulsos por cada litro, el PLC Siemens S7200 posee dos entradas la cual funcionan como contadores rápidos para entrada por pulsos. estas son las entradas I0.0 y I0.1, la variable que se utilizó fue I0.0 (bit) con Símbolo PULSO\_LITROS.

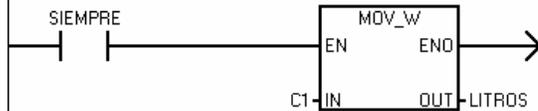
PLC:  
Mientras el caudalímetro se encuentre funcionando el me tomara los pulsos enviados por este y contabilizara la cantidad enviada de litros TOTALES por pulso en el contador C1



**Network 5** TRANSFERENCIA DEL CONTADOR A LA VARIABLE LITROS

SCADA:  
la cantidad de litros TOTALES se almacena en la varible denominada LITROS.

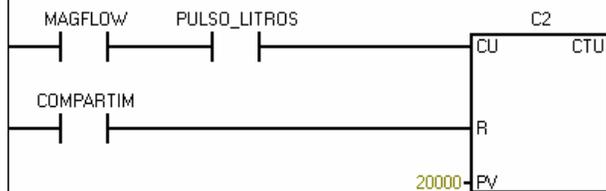
PLC:  
La visualizacion de la cantidad de litros se realiza transfiriendo el valor del contador C1 a la varible LITROS



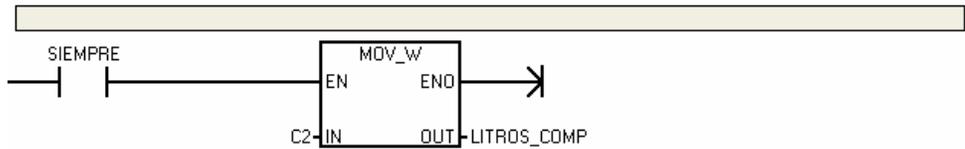
**Network 6** CONTADOR DE LITRO POR COMPARTIMIENTO

El principio de funcionamiento de este contador es el mismo que el anterior con la diferencia que este se encuentra diseñado para determinar y saber la cantidad de litros por compartimento

SCADA:  
la cantidad de litros por compartimento se denomina en el escada TOTALIZADOR POR COMPARTIMIENTO



**Network 7** TRANSFERENCIA DE LA VARIABLE DEL CONTADOR A LA VARIABLES LITROS X COMPARTIMIENTO



De los autores.

## 10.0 Entrada de Pulsos del sensor Electromagnético

### 10.1 Botón de reset (pulsador manual)

### 10.2 Entrada del sensor electromagnético

## 3.3.3 CONEXIONES ELÉCTRICAS

Es muy fácil conectar el S7-200. Basta con conectar la alimentación del S7-200 y utilizar el cable de comunicación para unir la unidad de programación y el S7-200.

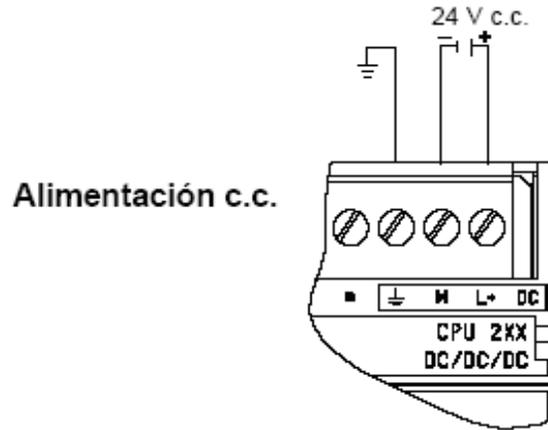
### Conexión de la alimentación del S7-200

Primero que todo es preciso conectar el S7-200 a una fuente de alimentación. La figura 18 muestra el cableado de una CPU S7-200 con alimentación c.c. (corriente continua).

Antes de montar o desmontar cualquier aparato eléctrico, vigile que se haya desconectado la alimentación del mismo.

Respete siempre las medidas de seguridad necesarias y verifique que la alimentación eléctrica del S7-200 se haya desconectado antes del montaje.

Figura 20. Conectar la alimentación del S7-200.

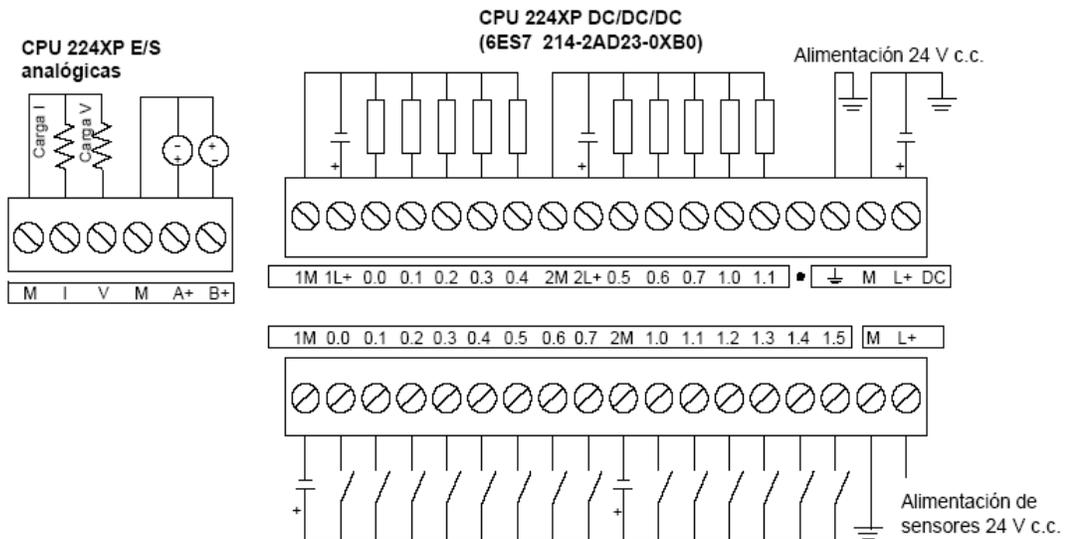


Manual del Sistema de Automatización S7-200 / Siemens.

Conexión de las Entradas/Salidas Digitales de la CPU 224XP

Esta CPU consta de 14 entradas digitales a 24 Vdc, 10 salidas digitales a 24 Vdc, 2 entradas analógicas 0-10 Vdc, 1 salida analógica por corriente (0-20mA) ó voltaje (0-10Vdc).

Figura 21. Conexiones de la CPU 224XP.

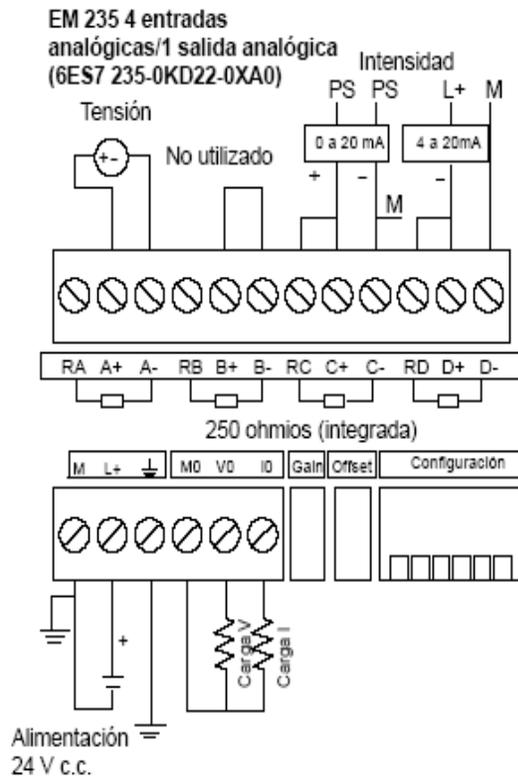


Manual del Sistema de Automatización S7-200 / Siemens.

## Conexión del Módulo de Entradas/Salidas Analógicas EM235

Aunque la CPU 224 XP tiene entradas análogas, estas son de poca resolución y son de tipo 0-10Vdc, por lo que se utilizó un módulo especializado en análogos con mayor resolución y con configuración para entradas de 0-20 mA.

Figura 22. Conexiones del módulo EM235.

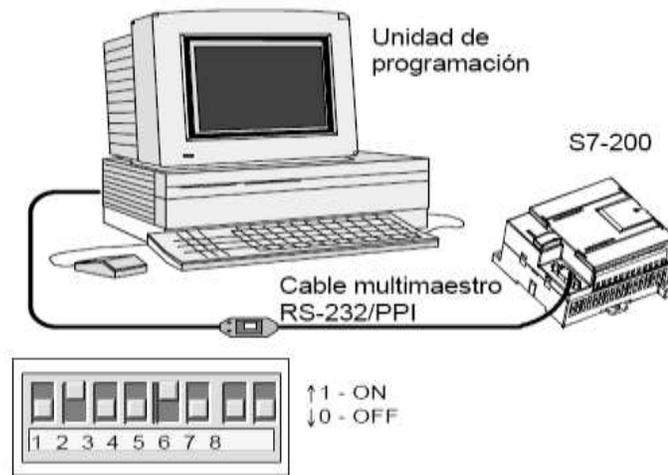


Manual del Sistema de Automatización S7-200 / Siemens.

## Conectar el Cable Multimaestro (USB/RS232) / PPI

La figura 21 muestra un cable multimaestro RS-232/PPI que conecta el S7-200 con la unidad de programación.

Figura 23. Conectar el Cable Multimaestro (USB/RS232)/PPI.



Manual del Sistema de Automatización S7-200 / Siemens.

Para conectar el cable:

1. Una el conector RS-232 ó USB (identificado con "PC") del cable multimaestro (USB/RS-232)/PPI al puerto de comunicación de la unidad de programación.
2. Una el conector RS-485 (identificado con "PPI") del cable multimaestro (USB/RS-232)/PPI al puerto 0 ó 1 del S7-200.
3. Vigile que los interruptores DIP del cable multimaestro RS-232/PPI estén configurados según la velocidad PPI a trabajar 9,6 Kbit/s ó 19,2 Kbit/s.

### 3.4 PUESTA EN MARCHA DE LA INSTRUMENTACIÓN

#### 3.4.1 THE PROBE

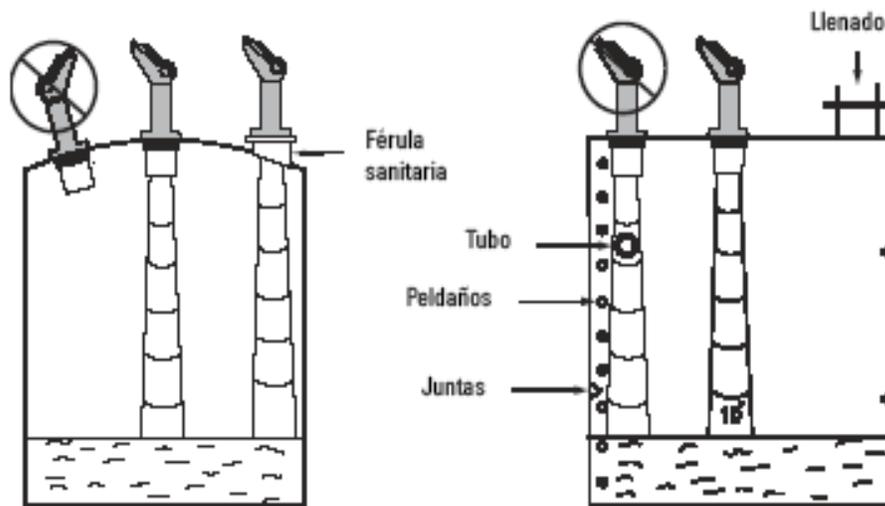
##### Ubicación

- Se debe instalar de forma que pueda emitir un pulso ultrasónico claro y

perpendicular a la superficie del líquido.

- Montar el Probe de forma que la cara del transductor esté por lo menos 25cm por encima del máx. nivel posible.
- El haz de sonido no deberá interferir en vías de llenado, irregularidades de las paredes, juntas, peldaños, etc.<sup>6</sup>

Figura 24. Instalación The Probe.



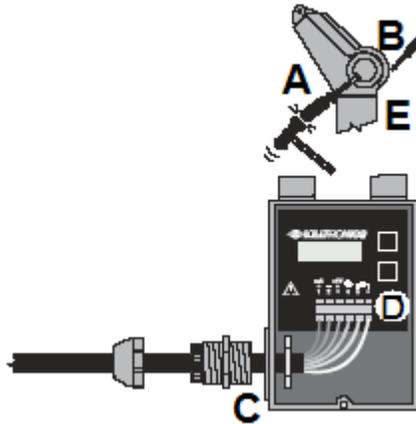
The Probe – Manual de Instrucciones. Ref: 7ML19981GD62.

- A) Con la tapa cerrada, se extrae el tope de la entrada de cable situado en el lado deseado.
- B) Se abre la tapa aflojando su tornillo.
- C) Se conecta el cable a The Probe.
- D) Se conecta la salida mA, la alimentación eléctrica y el cableado de relé.
- E) Se cierra la tapa. Apriete máximo de los tornillos: 1,1 a 1,7 N-m<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> The Probe – Manual de instrucciones. Ref: 7ML19982GD62. Pag.25. Ver bibliografía.

<sup>7</sup> The Probe – Manual de instrucciones. Ref: 7ML19982GD62. Pag.29. Ver bibliografía.

Figura 25. Conexión The Probe.

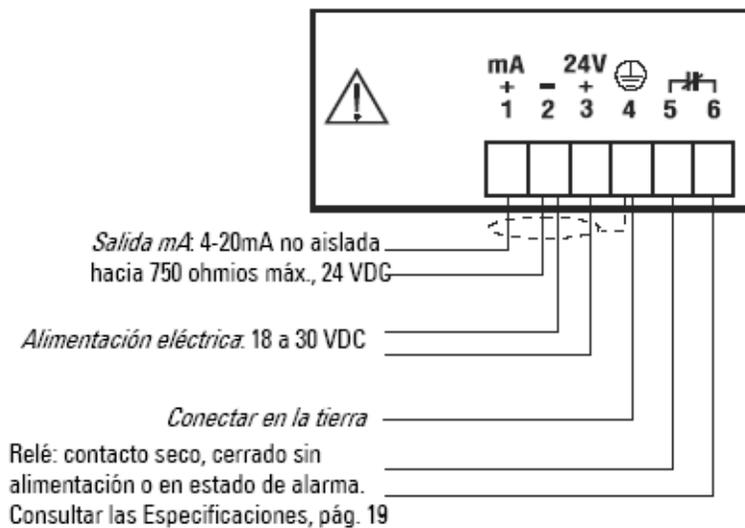


The Probe – Manual de Instrucciones. Ref: 7ML19981GD62.

⚠ Aislar todos los cableados tomando en cuenta la alimentación (mínimo 250V).

⚠ Los terminales DC solo deberán conectarse con circuitos de voltaje de seguridad especialmente bajos.<sup>8</sup>

Figura 26. Precauciones.



The Probe – Manual de Instrucciones. Ref: 7ML19981GD62.

<sup>8</sup> The Probe – Manual de instrucciones. Ref: 7ML19982GD62. Pag.29. Ver bibliografía

## Configuración

Se pueden hacer varios ajustes para conseguir un nivel óptimo de funcionamiento del equipo.

La calibración de salida mA puede efectuarse de forma que la distancia total sea proporcional o inversamente proporcional al nivel de material.

Tabla 6. Calibración del Probe.

<b>PROPORCIONAL</b>	<b>INVERSAMENTE PROPORCIONAL</b>
Nivel alto = 20mA	Nivel alto = 4mA
Nivel bajo = 4mA	Nivel bajo = 20mA

De los autores.

Para definir las medidas de referencia:

- Comprobar que el material en el depósito (o el medio a medir) se encuentra a la distancia correspondiente al valor deseado (desde la cara del transductor).
- Pulsar la tecla “4” ó “20” correspondiente. Se visualizará la medición correspondiente a la salida mA.
- Se puede efectuar la calibración de la distancia pulsando de nuevo la tecla correspondiente.
- Después de la visualización o calibración, The Probe vuelve automáticamente al modo Run (6 segundos). El valor de calibración se calcula desde la cara del transductor, en las unidades visualizadas.

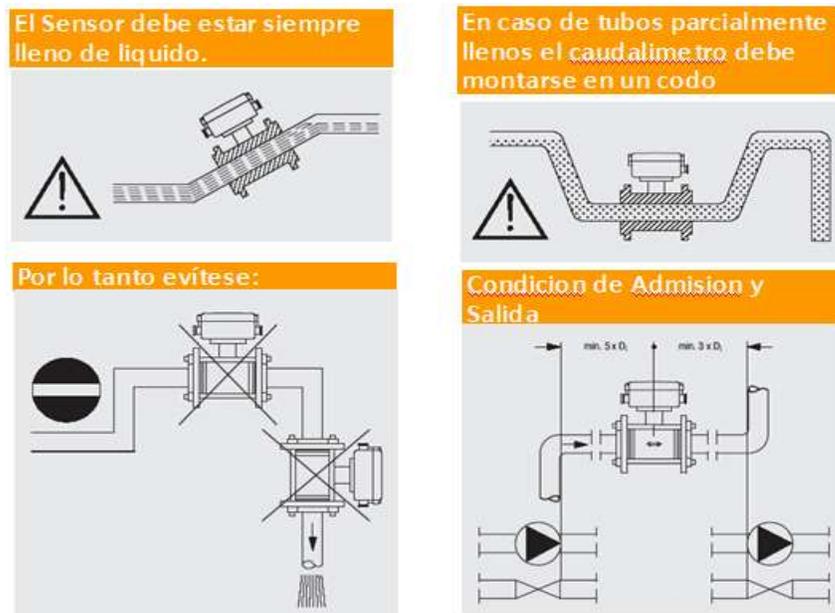
### 3.4.2 SITRANS F MAGFLOW

#### Ubicación

Para garantizar la precisión de la medida de caudal en modo permanente; el caudalímetro deberá encontrarse bajo las siguientes condiciones.

- La velocidad de Flujo debe situarse dentro de un rango de medida calculado.
- Las variaciones de temperatura de la leche deben ser mínimas durante el transcurso de la toma de datos.
- Montaje del Sensor Bajo las condiciones de Instalación.
- Se deberá tener en cuenta el porcentaje de error otorgado por el Fabricante, los datos deberán ser calculados bajo estadísticas según la repetibilidad del sensor.

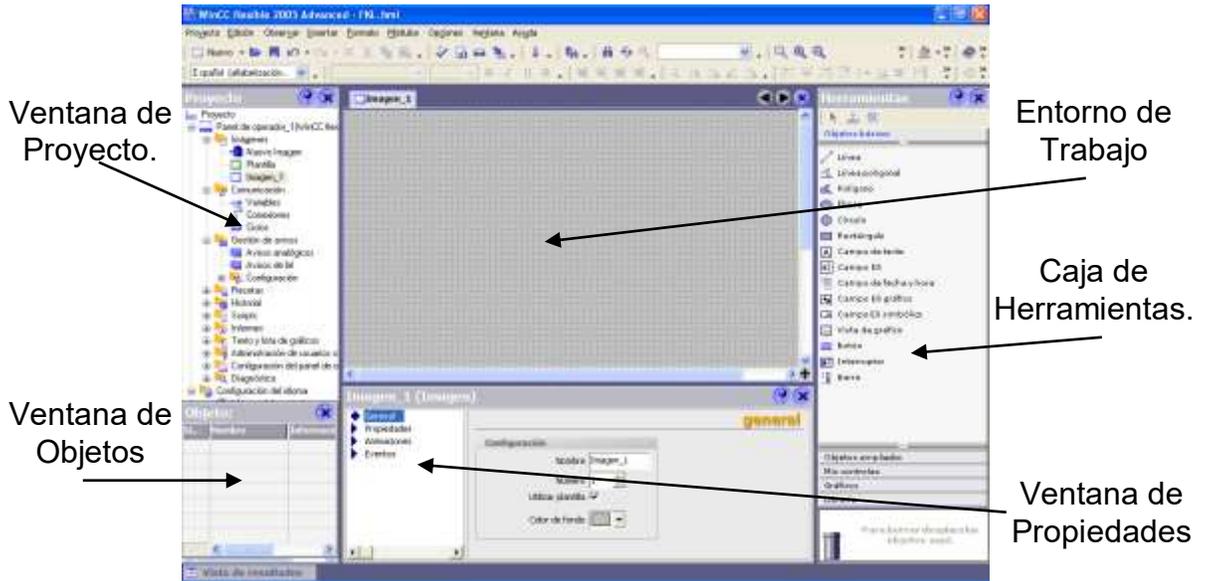
Figura 27. Condiciones de instalación del MagFlow.



Siemens AG 2005. A&D AS S M MP08/2005. Capítulo 7.



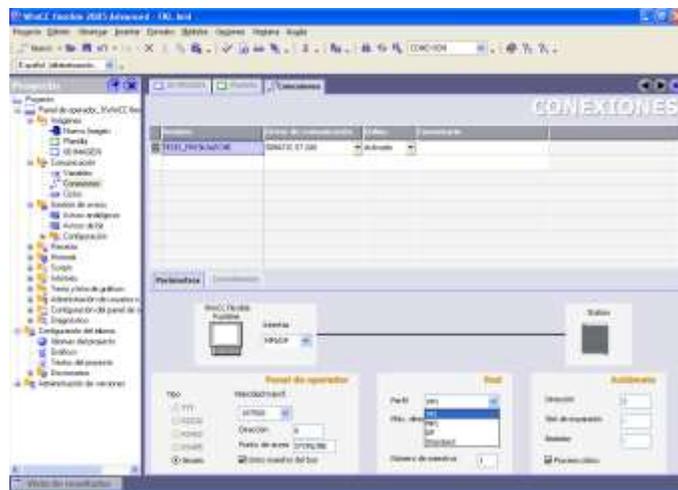
Figura 29. Escritorio WinCC Flexible.



De los autores

Primero se definieron y configuraron los parámetros de comunicación con el PLC S7-200.

Figura 30. Conexiones WinCC Flexible.

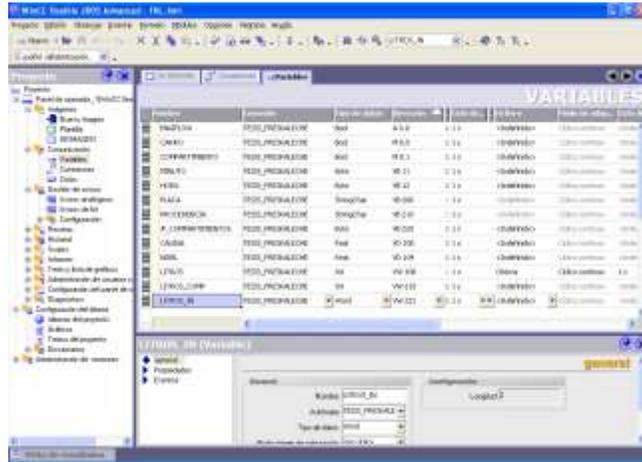


De los autores.

Después de tener parametrizada la comunicación entre el sistema SCADA y el

PLC se configura la variables, y sus respectivos direccionamientos, para poder así luego acceder y/o manipular los datos adquiridos.

Figura 31. Variables del Sistema SCADA.



De los autores.

### 3.6 PRUEBAS

#### 3.6.1 PRIMERA PRUEBA

##### 3.6.1.1 TOMA DE DATOS

Aforamiento Vehiculo Cisterna con datos:

- PLACA: SRR – 405
- Número de Compartimentos: 3
- Cantidad Estimada: 11020 Litros
- Procedencia: Aguachica
- Temperatura Leche: 8 – 9 ° C
- Punto de Aforo En su Lugar (30cm)

De la Tapa de Aforo.

- Hora de llegada: 18: 14

Tabla 7. Prueba 0, Compartimiento 1.

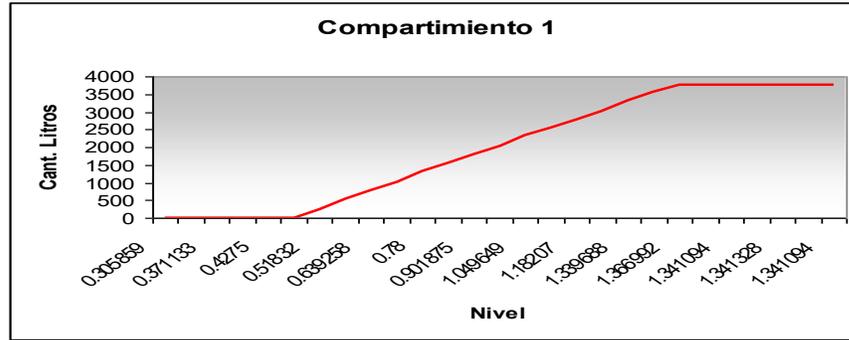
HORA	VARIABLE	VALOR	VARIABLE	VALOR
10/11/2006 18:15	LITROS	0	NIVEL	0.3058594
10/11/2006 18:16	LITROS	1	NIVEL	0.330586
10/11/2006 18:16	LITROS	3	NIVEL	0.3711328
10/11/2006 18:17	LITROS	4	NIVEL	0.3925782
10/11/2006 18:17	LITROS	0	NIVEL	0.4275
10/11/2006 18:18	LITROS	12	NIVEL	0.4526953
10/11/2006 18:18	LITROS	246	NIVEL	0.5183203
10/11/2006 18:19	LITROS	557	NIVEL	0.5778516
10/11/2006 18:19	LITROS	789	NIVEL	0.6392578
10/11/2006 18:20	LITROS	1021	NIVEL	0.7182422
10/11/2006 18:21	LITROS	1330	NIVEL	0.78
10/11/2006 18:21	LITROS	1561	NIVEL	0.8398829
10/11/2006 18:22	LITROS	1792	NIVEL	0.901875
10/11/2006 18:22	LITROS	2023	NIVEL	0.9807422
10/11/2006 18:23	LITROS	2329	NIVEL	1.049649
10/11/2006 18:23	LITROS	2559	NIVEL	1.115508
10/11/2006 18:24	LITROS	2788	NIVEL	1.18207
10/11/2006 18:24	LITROS	3017	NIVEL	1.298438
10/11/2006 18:25	LITROS	3321	NIVEL	1.339688
10/11/2006 18:25	LITROS	3549	NIVEL	1.340273
10/11/2006 18:26	LITROS	3757	NIVEL	1.366992
10/11/2006 18:27	LITROS	3762	NIVEL	1.341328
10/11/2006 18:27	LITROS	3762	NIVEL	1.341094
10/11/2006 18:28	LITROS	3762	NIVEL	1.366992
10/11/2006 18:28	LITROS	3776	NIVEL	1.341328
10/11/2006 18:29	LITROS	3776	NIVEL	1.341094
10/11/2006 18:29	LITROS	3776	NIVEL	1.341094

De los autores.

### Compartimiento 1

Rata de Flujo Promedio: 15067 Litros / hora

Figura 32. Curva Compartimiento 1, Prueba 0.



De los autores.

Compartimiento 2

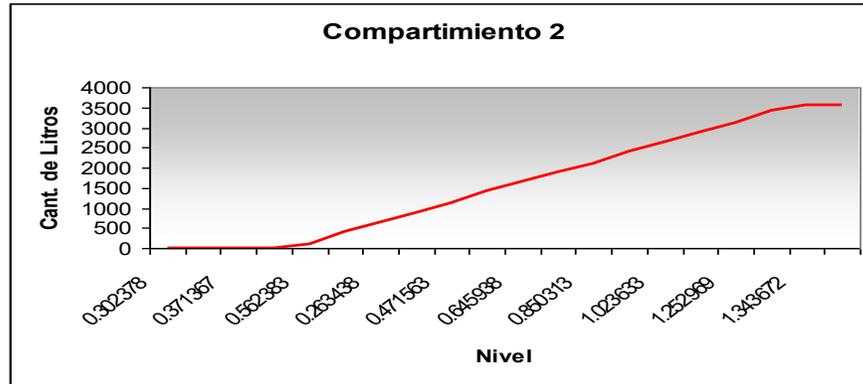
Rata de Flujo Promedio: 15130 Litros / hora

Tabla 8. Prueba 0, Compartimiento 2.

HORA	VARIABLE	VALOR	VARIABLE	VALOR
10/11/2006 18:33	LITROS	0	NIVEL	0.302378
10/11/2006 18:33	LITROS	1	NIVEL	0.3486328
10/11/2006 18:34	LITROS	3	NIVEL	0.3713672
10/11/2006 18:34	LITROS	5	NIVEL	0.3683203
10/11/2006 18:35	LITROS	91	NIVEL	0.5623828
10/11/2006 18:35	LITROS	404	NIVEL	0.3251953
10/11/2006 18:36	LITROS	639	NIVEL	0.2634375
10/11/2006 18:36	LITROS	873	NIVEL	0.3542578
10/11/2006 18:37	LITROS	1107	NIVEL	0.4715625
10/11/2006 18:38	LITROS	1417	NIVEL	0.55875
10/11/2006 18:38	LITROS	1650	NIVEL	0.6459375
10/11/2006 18:39	LITROS	1882	NIVEL	0.7621875
10/11/2006 18:39	LITROS	2114	NIVEL	0.8503125
10/11/2006 18:40	LITROS	2422	NIVEL	0.9398438
10/11/2006 18:40	LITROS	2653	NIVEL	1.023633
10/11/2006 18:41	LITROS	2884	NIVEL	1.175859
10/11/2006 18:41	LITROS	3113	NIVEL	1.252969
10/11/2006 18:42	LITROS	3419	NIVEL	1.360547
10/11/2006 18:42	LITROS	3543	NIVEL	1.343672
10/11/2006 18:43	LITROS	3543	NIVEL	1.345313

De los autores.

Figura 33. Curva Compartimiento 2, Prueba 0.



De los autores.

Compartimiento 3

Rata de Flujo Promedio:

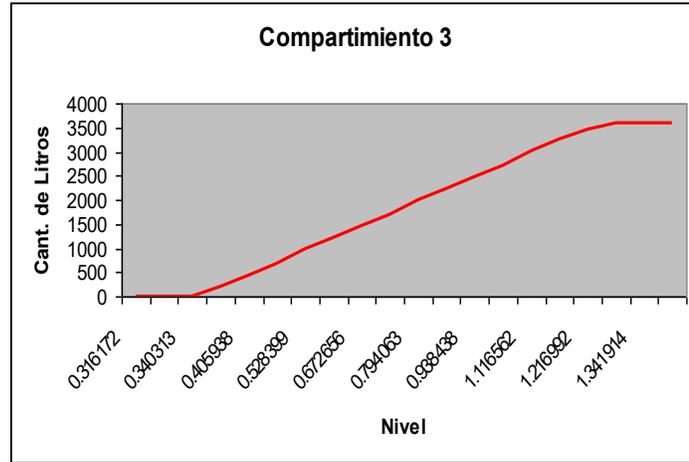
15093 Litros / hora

Tabla 9. Prueba 0, Compartimiento 3.

HORA	VARIABLE	VALOR	VARIABLE	VALOR
10/11/2006 18:33	LITROS	0	NIVEL	0.3161719
10/11/2006 18:33	LITROS	1	NIVEL	0.3663282
10/11/2006 18:34	LITROS	13	NIVEL	0.3403125
10/11/2006 18:34	LITROS	195	NIVEL	0.3201563
10/11/2006 18:35	LITROS	432	NIVEL	0.4059375
10/11/2006 18:35	LITROS	668	NIVEL	0.4679297
10/11/2006 18:36	LITROS	982	NIVEL	0.5283985
10/11/2006 18:36	LITROS	1217	NIVEL	0.5896875
10/11/2006 18:37	LITROS	1451	NIVEL	0.6726563
10/11/2006 18:38	LITROS	1686	NIVEL	0.7323047
10/11/2006 18:38	LITROS	1997	NIVEL	0.7940626
10/11/2006 18:39	LITROS	2231	NIVEL	0.8595703
10/11/2006 18:39	LITROS	2464	NIVEL	0.9384375
10/11/2006 18:40	LITROS	2697	NIVEL	1.05375
10/11/2006 18:40	LITROS	3006	NIVEL	1.116562
10/11/2006 18:41	LITROS	3238	NIVEL	1.149375
10/11/2006 18:41	LITROS	3469	NIVEL	1.216992
10/11/2006 18:42	LITROS	3609	NIVEL	1.364063
10/11/2006 18:42	LITROS	3610	NIVEL	1.341914
10/11/2006 18:43	LITROS	3610	NIVEL	1.344023

De los autores.

Figura 34. Curva Compartimiento 3, Prueba 0.



De los autores.

### 3.6.1.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Compartimiento 1:

Capacidad a Nivel de Aforo de 0.30cm: 3776

Compartimiento 2:

Capacidad a Nivel de Aforo de 0.30cm: 3543

Compartimiento 3:

Capacidad a Nivel de Aforo de 0.31cm: 3610

Capacidad Total a Nivel de Aforo 10929 Litros

Tolerancia (+/- 0.25 %) +/- 28 Litros

**Rango Máximo Tolerable (10901 – 10957) Litros**

Capacidad Estimada por el Centro de Acopio 11020 Litros

**Desfase de Aforo (63 Litros)**

Porcentaje de Error  $\{(11020-10957)/(11020)\} * 100 = 0,57\%$

Precio x Litro 600 \$

Desfase Administrativo x Día 37.800

x Mes	1'134.000
<b>x Año</b>	<b>13'456.800</b>

### **3.6.1.3 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES**

Este carro presenta problemas en la antigua estipulación de aforo, ya que presenta un desfase de aproximadamente 63 Litros, de un rango Tolerable de nivel de aforo.

Aforar los tanques del centro de acopio para unificar el sistema de medida para evitar perdidas por parte de las partes involucradas.

### **3.6.2 SEGUNDA PRUEBA**

#### **3.6.2.1 TOMA DE DATOS**

Aforamiento Vehiculo Cisterna con datos:

- PLACA: XSA – 011
- Número de Compartimentos: 3
- Cantidad Estimada: 10650 Litros
- Procedencia: Chimitá
- Temperatura Leche: 15-17 ° C
- Punto de Aforo: En su Lugar (30cm)  
De la Tapa de Aforo.
- Hora de Llegada: 10:31

Tabla 10. Prueba 1, Compartimiento 1.

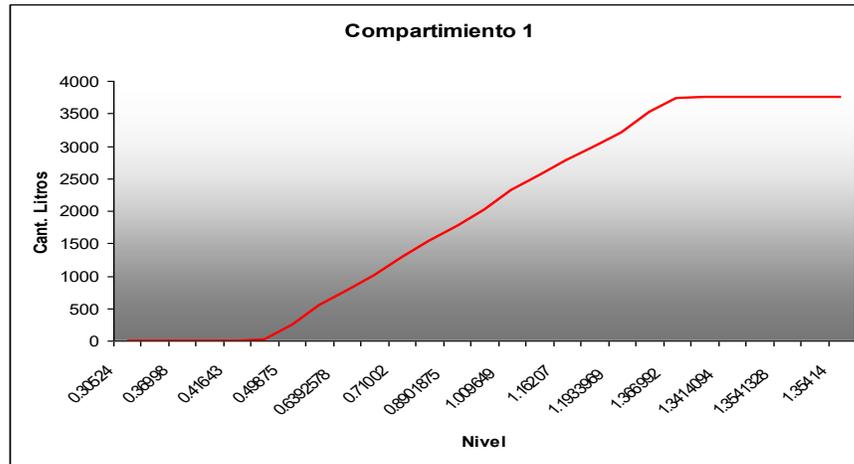
HORA	VARIABLE	VALOR	VARIABLE	VALOR
10/13/2006 10:31	LITROS	0	NIVEL	0.30524
10/13/2006 10:32	LITROS	1	NIVEL	0.32076
10/13/2006 10:32	LITROS	3	NIVEL	0.36998
10/13/2006 10:33	LITROS	4	NIVEL	0.38798
10/13/2006 10:33	LITROS	0	NIVEL	0.41643
10/13/2006 10:34	LITROS	11	NIVEL	0.4427
10/13/2006 10:34	LITROS	243	NIVEL	0.49875
10/13/2006 10:35	LITROS	555	NIVEL	0.57785
10/13/2006 10:35	LITROS	780	NIVEL	0.63926
10/13/2006 10:36	LITROS	1003	NIVEL	0.70152
10/13/2006 10:37	LITROS	1299	NIVEL	0.71002
10/13/2006 10:37	LITROS	1544	NIVEL	0.83942
10/13/2006 10:38	LITROS	1772	NIVEL	0.89019
10/13/2006 10:38	LITROS	2023	NIVEL	0.97124
10/13/2006 10:39	LITROS	2320	NIVEL	1.00965
10/13/2006 10:40	LITROS	2541	NIVEL	1.11355
10/13/2006 10:41	LITROS	2771	NIVEL	1.16207
10/13/2006 10:42	LITROS	2998	NIVEL	1.12984
10/13/2006 10:43	LITROS	3204	NIVEL	1.1934
10/13/2006 10:43	LITROS	3530	NIVEL	1.23403
10/13/2006 10:44	LITROS	3740	NIVEL	1.36699
10/13/2006 10:45	LITROS	3756	NIVEL	1.34133
10/13/2006 10:45	LITROS	3756	NIVEL	1.34141
10/13/2006 10:46	LITROS	3756	NIVEL	1.35267
10/13/2006 10:46	LITROS	3759	NIVEL	1.35413
10/13/2006 10:47	LITROS	3759	NIVEL	1.35414
10/13/2006 10:47	LITROS	3759	NIVEL	1.35414

De los autores.

Compartimiento 1

Rata de Flujo Promedio: 14096.25 Litros / hora

Figura 35. Curva Compartimiento 1, Prueba 1.



De los autores.

### Compartimiento 2

Rata de Flujo Promedio: 18850.9 Litros / hora

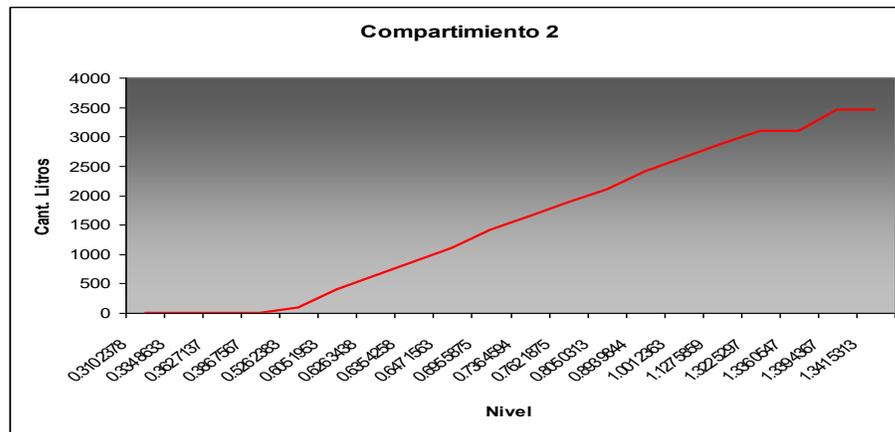
Tabla 11. Prueba 1, Compartimiento 2.

HORA	VARIABLE	VALOR	VARIABLE	VALOR
10/13/2006 10:50	LITROS	0	NIVEL	0.31024
10/13/2006 10:51	LITROS	2	NIVEL	0.33486
10/13/2006 10:51	LITROS	3	NIVEL	0.36271
10/13/2006 10:52	LITROS	5	NIVEL	0.38676
10/13/2006 10:53	LITROS	90	NIVEL	0.52624
10/13/2006 10:53	LITROS	402	NIVEL	0.6052
10/13/2006 10:54	LITROS	635	NIVEL	0.62634
10/13/2006 10:54	LITROS	869	NIVEL	0.63543
10/13/2006 10:55	LITROS	1098	NIVEL	0.64716
10/13/2006 10:55	LITROS	1410	NIVEL	0.69559
10/13/2006 10:56	LITROS	1647	NIVEL	0.73646
10/13/2006 10:57	LITROS	1879	NIVEL	0.76219
10/13/2006 10:57	LITROS	2100	NIVEL	0.80503
10/13/2006 10:58	LITROS	2411	NIVEL	0.89398
10/13/2006 10:58	LITROS	2650	NIVEL	1.00124
10/13/2006 10:59	LITROS	2884	NIVEL	1.12759
10/13/2006 10:59	LITROS	3104	NIVEL	1.32253

10/13/2006 11:00	LITROS	3104	NIVEL	1.33605
10/13/2006 11:01	LITROS	3455	NIVEL	1.33944
10/13/2006 11:01	LITROS	3456	NIVEL	1.34153

De los autores.

Figura 36. Curva Compartimiento 2, Prueba 1.



De los autores.

### Compartimiento 3

Rata de Flujo Promedio:

15093 Litros / hora

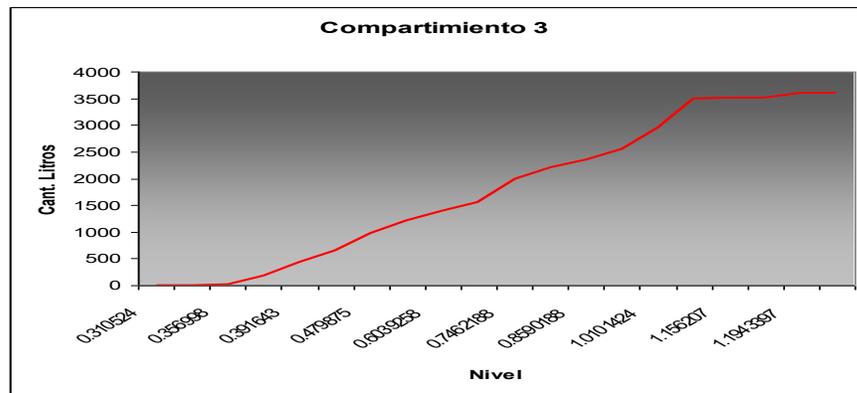
Tabla 12. Prueba 1, Compartimiento 3.

HORA	VARIABLE	VALOR	VARIABLE	VALOR
10/13/2006 11:04	LITROS	0	NIVEL	0.31052
10/13/2006 11:04	LITROS	5	NIVEL	0.32076
10/13/2006 11:05	LITROS	10	NIVEL	0.35699
10/13/2006 11:05	LITROS	185	NIVEL	0.36787
10/13/2006 11:06	LITROS	426	NIVEL	0.39164
10/13/2006 11:07	LITROS	650	NIVEL	0.41427
10/13/2006 11:17	LITROS	975	NIVEL	0.47987
10/13/2006 11:18	LITROS	1210	NIVEL	0.52778
10/13/2006 11:18	LITROS	1398	NIVEL	0.60392
10/13/2006 11:19	LITROS	1565	NIVEL	0.67364

10/13/2006	11:19	LITROS	1983	NIVEL	0.74621
10/13/2006	11:20	LITROS	2204	NIVEL	0.81394
10/13/2006	11:20	LITROS	2358	NIVEL	0.85901
10/13/2006	11:21	LITROS	2543	NIVEL	0.96712
10/13/2006	11:22	LITROS	2946	NIVEL	1.01014
10/13/2006	11:22	LITROS	3499	NIVEL	1.11275
10/13/2006	11:23	LITROS	3510	NIVEL	1.15620
10/13/2006	11:23	LITROS	3512	NIVEL	1.14298
10/13/2006	11:24	LITROS	3598	NIVEL	1.19433
10/13/2006	11:25	LITROS	3598	NIVEL	1.20734

De los autores.

Figura 37. Curva Compartimiento 3, Prueba 1.



De los autores.

### 3.6.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Compartimiento 1:

Capacidad a Nivel de Aforo de 0.30cm: 3759

Compartimiento 2:

Capacidad a Nivel de Aforo de 0.30cm: 3456

Compartimiento 3:

Capacidad a Nivel de Aforo de 0.30cm: 3598

Capacidad Total a Nivel de Aforo		10813 Litros
Tolerancia (+/- 0.25 %)		+/- 25 Litros
<b>Rango Máximo Tolerable</b>	<b>(10788 –10838) Litros</b>	
Capacidad Estimada por el Centro de Acopio		10650 Litros
<b>Desfase de Aforo</b>		<b>(163 Litros)</b>
Porcentaje de Error	$\{(11650-10813)/(11650)\} * 100 =$	7,18%
Precio x Litro		600 \$
Desfase Administrativo	x Día	97.800
	x Mes	2'934.000
	<b>x Año</b>	<b>35'208.000</b>

### 3.6.1.3 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Este carro presenta problemas en la antigua estipulación de aforo, ya que presenta un desfase de aproximadamente 163 Litros, de un rango Tolerable de nivel de aforo.

## **CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 CONCLUSIONES**

- ✓ Se implementó un sistema para la calibración de tanques de llegada de insumos de leche del cuál se obtienen datos confiables, en el cuál aplicamos conocimientos adquiridos durante la carrera, y nos capacitamos en un nuevo software de supervisión (WinCC Flexible) de la familia SIEMENS, con el cual se obtuvo una interfaz amena y amigable.
- ✓ Es importante seleccionar los elementos más apropiados para el sistema, y esto se debió realizar teniendo como base los recursos suministrados por la empresa. Este es un punto relevante debido a que finalmente fue aplicado a la industria, en donde se pudo ver que un diseño es simplemente una guía que muestra un buen procedimiento, es decir, el suministro de los equipos por parte del contratista y la disponibilidad de los mismos limita o satisface el diseño propuesto.
- ✓ Se empleó un lenguaje de programación que permite llegar a un software que brinda al usuario facilidad de manejo, por lo cual no necesita de una amplia capacitación para hacer uso del mismo. Dicho control de la mano de este software da como resultado un interfaz humano máquina, lo cual hace que cualquier proceso industrial sea más efectivo, obteniendo a la vez historiales de cualquier tipo de proceso y también proporcionando ver el proceso en tiempo real desde un lugar remoto.

- ✓ Teniendo en cuenta que uno de los ítems más importantes para la ingeniería mecatrónica es el control del proceso, se comprobó que el PLC es un elemento que logra este propósito de una forma sencilla y eficaz y además termina siendo aplicable a otros procesos, por lo cual más que un costo es una inversión para la empresa.
- ✓ El sistema desarrollado para aforar los tanques de FreskaLeche, puede ser empleado en otros ámbitos industriales, ya que ésta idea se tuvo en cuenta para la selección de materias, puesto que no siempre lo que se va a sensar de los tanques a la hora de llegada, va a ser leche.
- ✓ Se mejoraron los tiempos en el proceso de aforamiento con el cambio de método, pues anteriormente en Freskaleche era empleado el método geométrico que generaba gran incertidumbre sobre las mediciones que se tomaban y empleaba el triple del tiempo que toma actualmente.
- ✓ Se tiene mayor higiene en el proceso, debido a que no hay contacto directo con el producto por parte de los operarios.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

Para la medición de nivel:

- ✓ Puede ser utilizado también un sensor capacitivo como el SITRANS LC 300 de Siemens o el LIT con referencia HYDROBAR "S" TYPE 2000 de la marca KLAY INSTRUMENTS.

Para la medición de flujo:

Otros sensores recomendados para la medición de flujo son:

- ✓ El medidor de área variable SITRANS F VA Minix, este es usado para medir el volumen de líquidos transparentes y gases pasando a través de una tubería cerrada. La válvula de aguja incorporada permite el control manual de los caudales. El producto es manufacturado por MECON GmbH y distribuido por Siemens.
- ✓ También es posible usar contadores de líquidos, como el contador de émbolo rotativo DN 50 (2") con mecanismo de aguja simple, si el caudal no excede 1000l/min. como en este caso.
- ✓ Los equipos seleccionados tienen certificaciones que satisfacen diferentes protocolos de comunicación, esto es necesario si en determinada aplicación se requiere hacer aforo más cercano o lejano a la interfaz gráfica.

## BIBLIOGRAFÍA

INSTRUMENTOS DE CAMPO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS - Catálogo FI 01, Alemania: Siemens, 2005.

FIELD INSTRUMENTS FOR PROCESS AUTOMATION – Catalogue FI 01, Alemania: Siemens, 2006.

MUNSON, Bruce R., Fundamentos de mecánica de fluidos. México: Editorial Limusa S.A., 1999.

GREENE, Richard W., Válvulas selección, uso y mantenimiento, México: Editorial McGraw – Hill, 1992.

MCNAUGHTON, Kenneth., Bombas selección, uso y mantenimiento, México: Editorial McGraw – Hill, 1992.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para la presentación de tesis y otros trabajos de grado. Quinta Actualización. Santafe de Bogotá D.C.: ICONTEC, 2002. 34p NT 1486

CREUS, Antonio Creus, Instrumentación Industrial, México: Alfaomega. Sexta Edición, 1998.

DOEBELIN, Ernest, Measurement Systems, Application and Design, Estados Unidos: McGraw-Hill, 1990.

SOISSON, Harold, Instrumentación Industrial, Limusa Noriega Editores. 2001

## PAGINAS DE INTERNET

<http://atpingeneria.com/>  
<http://br.geocities.com/saladefisica10/experimentos/>  
<http://caribe.udea.edu.co/~benferm/lcontec2003.pps#292,36,Diapositiva%2036>  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3nica>  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Instrumentaci%C3%B3n\\_electr%C3%B3nica](http://es.wikipedia.org/wiki/Instrumentaci%C3%B3n_electr%C3%B3nica)  
<http://html.rincondelvago.com/aforos.html>  
<http://html.rincondelvago.com/obras-hidraulicas.html>  
<http://html.rincondelvago.com/teorema-de-bernoulli.html>  
<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/339/33908806.pdf>  
<http://www.ats.nl/products/partners-info-gb.php?lang=e#Spectrum>  
<http://www.ciget.pinar.cu/No.%202001-1/modelo.htm>  
<http://www.cncdesign.com.au/img/products/>  
[http://www.fisicanet.com.ar/fisica/estatica\\_fluidos/ap03\\_hidroestatica.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/estatica_fluidos/ap03_hidroestatica.php)  
<http://www.freskaleche.com.co/>  
<http://www.geocities.com/luilakes/>  
<http://www.internet-remotecontrol.net/data/>  
<http://www.lpc-uk.com/sst/g>  
<http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml>  
<http://www.monografias.com/trabajos22/calibracion/calibracion.shtml>  
<http://www.onimex.com.ve/imag/>  
<http://www.paralab.pt/images/>  
[http://www.portalplanetasedna.com.ar/archivos\\_varios/](http://www.portalplanetasedna.com.ar/archivos_varios/)  
<http://www.schillig.com.ar/images/>  
[http://www.telemecanique.com/en/library/index\\_brochures.htm#fam\\_11](http://www.telemecanique.com/en/library/index_brochures.htm#fam_11)  
<http://www.univalle.edu.co/~automatica/Cursos/InstrumentacionIndustrial/Material/>  
[http://www.uai.cl/prontus3\\_prog\\_pregrado/site/artic/20040826/asocfile/ASOCFILE120040826104248.pdf](http://www.uai.cl/prontus3_prog_pregrado/site/artic/20040826/asocfile/ASOCFILE120040826104248.pdf)

## ANEXOS

## MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DISEÑADO

Advertencias generales sobre la operación del equipo:

- ✓     El mantenimiento eléctrico, electrónico y mecánico, en caso de ser necesario, deberá ser realizado por un técnico especialista.
- ✓     Mantener el área de operación y sus alrededores libres de suciedad o agua debido a fugas que puedan presentarse.
- ✓     Verificar el buen estado de los tubos comprobando que no haya fisuras para evitar escapes.
- ✓     En caso de fuga, verificar la ubicación de la misma y no encender el equipo hasta haber solucionado el inconveniente.
- ✓     Mantener limpieza en general para evitar accidentes o lesiones por resbalones.
- ✓     No se deben modificar las condiciones de operación del equipo en cuanto a conexiones eléctricas y electrónicas a menos que sea recomendado por Sensomatic y Cia. Ltda. Es de aclarar que esta práctica requeriría de asesoría directa por parte de la empresa.
- ✓     Aunque el equipo esta protegido contra sobrecargas no debe ser empleado en aplicaciones para las cuales no fue diseñado.
- ✓     Se deben leer las instrucciones de operación y mantenimiento de cada elemento (sensores, válvulas) antes de cualquier mantenimiento o cualquier reparación.

Rutinas de mantenimiento:

A continuación enumeramos los requerimientos de mantenimiento del equipo:

1. Se debe hacer una revisión completa de las válvulas una vez al año con el objetivo de evaluar su estado para garantizar su confiabilidad y poder programar el cambio con anticipación.

2. Se deben tener los cuidados mínimos de limpieza recomendados para este tipo de componentes a la hora de manipular cada uno de los elementos del sistema, lo que asegura una mayor vida útil de los mismos.
  
3. Mantenimiento y reparación del sensor ultrasónico para la medición de flujo. El SITRANS F no requiere mantenimiento interno, si hay un fallo es necesario repararlo.

El dispositivo fusible (slow blow 1.6A/250 VH (capacidad de apagado 1500A); licencia: UR, CSA, VDE) está localizada en la tarjeta de alimentación de voltaje.