



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**SEDE LATACUNGA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E**  
**INSTRUMENTACIÓN**

**“Diseño e Implementación del Sistema SCADA para el  
Dosificador de Polímero de la Planta de Tratamiento de agua  
potable del Casigana de EMAPA”**

**Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero  
Electrónico en Instrumentación**

**Dario Alejandro López López**  
**Guido Enrique Sánchez Navarrete**

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Abril 2008**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos, que el presente proyecto de grado fue desarrollado en su totalidad por los señores DARIO ALEJANDRO LOPEZ LOPEZ y GUIDO ENRIQUE SANCHEZ NAVARRETE, bajo nuestra supervisión.

Latacunga Abril 2008

---

Ing. Julio Acosta  
DIRECTOR DEL PROYECTO

---

Ing. Franklin Silva  
CODIRECTOR DEL PROYECTO

## *A*GRADECIMIENTOS

A la empresa municipal de agua potable y alcantarillado de Ambato EMAPA por auspiciar el proyecto, en forma especial al Ing. Max Pico y al personal de la Planta de Tratamiento del Casigana por la ayuda brindada para el desarrollo del mismo

A los Ingenieros de automatización de “La Llave” por su valiosa ayuda en la implementación del sistema SCADA

Al Director y Codirector del Proyecto de Grado por su acertada guía, así como a la Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga por la excelente calidad de conocimientos transmitidos.

*Dario.*

*Guido.*

## DEDICATORIA

De forma especial y muy merecida dedicamos nuestro trabajo a nuestros padres por toda la confianza y el gran apoyo para poder cumplir nuestra meta, a nuestras familias por su comprensión y ayuda en los momentos difíciles y a todas las personas importantes en nuestras vidas que estuvieron siempre junto a nosotros incondicionalmente.

*Dario.*

*Guido.*

*“Las cosas que sabemos solo representan una mínima parte de las cosas que ignoramos”*

*Albert Einstein*

# CONTENIDO

	Pág.
<b>CAPITULO I: ANTECEDENTES</b>	
1.1 INTRODUCCION.....	1
1.2 PURIFICACION Y DOSIFICACION DEL AGUA POTABLE.....	4
1.2.1 Potabilización.....	4
1.2.2 Dosificación.....	12
1.3 IMPORTANCIA DEL MONITOREO DEL CAUDAL, TURBIEDAD, NIVEL DESDE LA ESTACION PRINCIPAL.....	14
1.3.1 Medición del Caudal.....	14
1.3.2 Medición de Turbiedad.....	15
1.3.3 Medición del Nivel.....	17
1.4 BOMBAS DOSIFICADORAS MILTON ROY.....	19
1.4.1 Descripción.....	19
1.4.2 Partes de la Bomba Dosficadora Milton Roy.....	20
1.4.3 Principio de Funcionamiento de la Bomba.....	24
1.4.4 Instalación.....	25
1.4.5 Puesta en Servicio.....	27
1.4.6 Mantenimiento Básico .....	28
 <b>CAPITULO II: DESCRIPCION DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACION</b>	
2.1 SENSORES Y TRANSMISORES.....	29
2.1.1 Transmisor de Caudal.....	32
2.1.2 Transmisor de Turbiedad.....	34
2.1.3 Sensores de Nivel.....	40
2.2 CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE PLC.....	44
2.2.1 Componentes básicos de los PLC.....	44
2.2.2 Tipos de PLC.....	47

2.2.3 Programación de un PLC.....	47
2.2.4 Tiempo de ciclo de programa.....	48
2.2.5 Características y Arquitectura.....	49
2.2.6 Sistema Micrologix 1500.....	49
2.3 MODULO DE COMUNICACIONES ETHERNET ENI ( <i>ETHERNET NETWORK INTERFACE</i> ).....	50
2.3.1 Función.....	50
2.3.2 Protocolos de Comunicación Utilizados.....	51
2.4 VARIADOR DE FRECUENCIA.....	53
2.4.1 Principio de funcionamiento.....	53
2.4.2 Características del Variador de Frecuencia CA Serie 160 SSC.....	57
2.5 ELECTROVALVULAS.....	61
2.5.1 Clases. ....	62
2.5.2 Funcionamiento. ....	63

### **CAPITULO III: DISEÑO DEL SOFTWARE**

3.1 PROGRAMACION DEL PLC.....	65
3.1.1 Lógica de Control.....	65
3.1.2 Variables de Control.....	66
3.1.3 Programa PLC Micrologix 1500.....	68
3.2 CONFIGURACION DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	69
3.2.1 Configuración del Módulo Ethernet.....	69
3.2.2. Configuración de la Comunicación del Sistema SCADA.....	72
3.3 PROGRAMACION DEL SISTEMA SCADA (RSView32).....	75
3.4 CONVENCIONES USADAS POR EL SISTEMA.....	76
3.5 OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	77

### **CAPITULO IV: IMPLEMENTACION Y PRUEBAS**

4.1 PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL SISTEMA DE SENSORES Y ACTUADORES.....	86
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA DE SENSORES Y	

ACTUADORES.....	89
4.3 PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LAS COMUNICACIONES DEL SISTEMA SCADA.....	90
4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS COMUNICACIONES DEL SISTEMA SCADA.....	92
4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA HMI- SCADA.....	94
4.6 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	95
4.7 MANUAL DE OPERACIÓN.....	96
4.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>102</b>

## **ANEXOS**

ANEXO A: GLOSARIO

ANEXO B: PROGRAMACION PLC y RSVIEW32

ANEXO C: PLANOS

# CAPITULO I

## ANTECEDENTES

### 1.1 INTRODUCCION.

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Ambato EMAPA es la encargada de controlar, ejecutar proyectos de agua potable y alcantarillado así como proporcionar estos servicios básicos a todos los barrios de la ciudad.

Desde las fuentes de captación del Río Ambato, ubicadas en la represa de Aguaján, un caudal alrededor de 250 lt/s, adjudicado por el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, es canalizado a través de túneles que atraviesan la montaña hasta la planta de tratamiento CASIGANA donde se asegura agua potable para 80 mil habitantes, durante las 24 horas del día.

Es política de EMAPA abastecer a la comunidad de agua apta para el uso y consumo humano, que cumpla con las características organolépticas<sup>1</sup>, microbiológicas y químicas establecidas por la normativa. Esto ha obligado a la empresa a la implementación de mejoras en los tratamientos de potabilización. En este contexto se hace necesario que, cuando se aplican estos tratamientos, sean utilizados productos químicos específicos, que no presenten efectos potenciales adversos a la salud.

Con el objetivo de mejorar la característica del agua potable a niveles internacionales y considerando como una de las mejores del país, EMAPA se ha enfocado en adquirir

---

<sup>1</sup> Propiedades organolépticas son el conjunto de descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, como por ejemplo su [sabor](#), [textura](#), [olor](#) [color](#) .



equipos de alta tecnología y proporcionar a sus plantas de tratamiento sistemas automáticos que mejoraran la purificación y brindaran a la ciudadanía un elemento vital de alta calidad.

### **Agua.**

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales y es uno de los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo, junto con el aire, la tierra y la energía.

El agua es el compuesto químico más abundante del planeta y resulta indispensable para el desarrollo de la vida. Está formado por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, y su fórmula química es H<sub>2</sub>O. En la naturaleza se encuentra en estado sólido, líquido o gaseoso.

Hoy, salvo en raros casos, el agua como se encuentra en la naturaleza, no puede ser utilizada directamente para el consumo humano ni para usos industriales, dado que no es lo suficientemente pura biológicamente ni químicamente.

El hecho de que su curso ocurre por el suelo, por la superficie de la tierra e inclusive a través del aire, el agua se contamina y se carga de materias en suspensión o en solución como por ejemplo partículas de arcillas, residuos de vegetación, organismos vivos (bacterias, virus), sales diversas, cloruros, sulfatos, carbonatos, materia orgánica, residuos de fabricación, gases, etc.

Por efectos de la contaminación producida por una educación depredadora de la especie humana, quienes habitamos éste planeta, nos enfrentamos con una catástrofe irreversible: el envenenamiento del agua.

El agua entra en gran proporción en la constitución de los seres vivos. En el seno de un organismo, el contenido de agua de los diferentes órganos no es el mismo.- La pequeña proporción de 22% a 34% es la que entra en los huesos y en los tejidos se eleva a 70% y 80% en las distintas vísceras. El mayor contenido corresponde a los tejidos nerviosos que contiene una proporción del 82% al 94%.

Es importante realizar un control del agua potable pues al constituirse un medio de satisfacción de necesidades al consumidor, es imperativo garantizar su buen estado para prevenir posibles focos de infección y riesgo de contraer enfermedades

### **Polímero.**

Los polímeros son compuestos químicos cuyas moléculas están formadas por la unión de otras moléculas más pequeñas llamadas monómeros<sup>2</sup>, las cuales se enlazan entre sí como si fueran los eslabones de una cadena. Estas cadenas, que en ocasiones presentan también ramificaciones o entrecruzamientos, pueden llegar a alcanzar un gran tamaño, razón por la cual son también conocidas con el nombre de macromoléculas. Habitualmente los polímeros reciben, de forma incorrecta, el nombre de plásticos, que en realidad corresponde tan sólo a un tipo específico de polímeros, concretamente los que presentan propiedades plásticas (blandos, deformables y maleables con el calor).

El químico que se utiliza en la dosificación es el policloruro de aluminio (abreviado generalmente como PAC) es el resultado de un proceso de fabricación complejo bajo condiciones de trabajo controladas. La materia prima para su fabricación es el hidróxido de aluminio y el ácido clorhídrico. Ambos productos son colocados en el reactor<sup>3</sup> y mantenidos a determinadas temperaturas y presiones mientras son agitados producen el Policloruro de Aluminio al cabo de cierto tiempo. Las características tecnológicas de cada fabricante pueden variar. Generalmente el producto resultante, es sometido a un filtro de bandas y luego almacenado para su uso.

Es usado como coagulante en el proceso de potabilización de las aguas para consumo humano, en el tratamiento de aguas residuales, en la industria del papel, en la industria del cuero entre otros. Es un producto corrosivo, por eso se almacena en tanques de cemento y las bombas que se utilizan son resistentes a este químico.

Está alistado como coagulantes provenientes de sales de aluminio junto con el tradicional sulfato de aluminio anteriormente utilizado en la Planta de Tratamiento. Sin embargo, tiene algunas ventajas frente a este:

---

<sup>2</sup> Monómero.- es una molécula de pequeña masa molecular que unida a otros monómeros, a veces cientos o miles, por medio de enlaces químicos, generalmente covalentes, forman macromoléculas llamadas polímeros.

<sup>3</sup> Reactor.- Instalación destinada a producir o regular la escisión de ciertos núcleos atómicos por la acción de neutrones liberados en el proceso

- Mayor potencia de coagulación.
- Mayor velocidad de coagulación y floculación.
- Menor gasto de coagulante (especialmente a altas turbiedades).
- No aporta aluminio disuelto al agua.
- Menor turbiedad final en el proceso.
- Efectividad en un amplio rango de pH.
- Igual rendimiento con distintas temperaturas.
- Remoción de color.

## **1.2 PURIFICACION Y DOSIFICACION DEL AGUA POTABLE.**

### **1.2.1 POTABILIZACION.-**

La potabilización es el proceso consistente en la eliminación de los sólidos suspendidos, aglomeración, sedimentación de los coloides<sup>4</sup> y desinfección de organismos patógenos<sup>5</sup> mediante la coagulación, el ablandamiento, la eliminación de hierro y manganeso, la eliminación de olor y sabor, la sedimentación, la filtración, el control de corrosión, la evaporación y la desinfección, todo ello realizado en las estaciones de tratamiento de agua potable. La potabilización tiene por objetivo hacer el agua apta para su consumo.

El tratamiento del recurso agua se puede dividir en dos categorías, según sea si se trata de agua dulce que no ha sido utilizada para cubrir las necesidades del hombre, o de agua que éste ha emitido como residuo después de usarla:

Tratamiento de aguas continentales de origen superficial o subterráneo.

Tratamiento de aguas residuales de origen doméstico o industrial.

El agua pura no se encuentra en forma natural porque está normalmente contaminada por el aire y el suelo. Las impurezas pueden ser orgánicas y/o inorgánicas ya sea disueltas, o en forma de material particulado. Estas impurezas pueden provenir de la degradación biológica de sustancias orgánicas que producen ácidos grasos, carbohidratos, aminoácidos e hidrocarburos; de sustancias inorgánicas como metales tóxicos, material particulado como arcillas, sedimentos y de microorganismos como bacterias, virus y protozoos (tabla 1.1).

---

<sup>4</sup> Coloides.- el cuerpo que al disgregarse en un líquido aparece como disuelto, pero no lo está.

<sup>5</sup> Patógenos.- organismos que originan o favorecen al desarrollo de enfermedades

Los contaminantes químicos corrientes son metales pesados como hierro, manganeso, plomo, mercurio, arsénico, cobre, cinc, compuestos nitrogenados tales como amoníaco, nitrito y nitrato, carbonato o bicarbonato de calcio y magnesio, aniones como cloruro, fluoruro, sulfato y silicatos y las mencionadas, sustancias orgánicas. Aparte de estas sustancias, existen otros contaminantes de carácter antropogénico tales como cianuros, fenoles, cromo y detergentes.

Los contaminantes biológicos del agua y sus efectos se dan en la siguiente tabla: <b>Microorganismo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Enfermedad</b>
Bacteria	Salmonella tphi	tifus
Bacteria	Vibrio cholerae	cólera
Bacteria	Shigellas	disentería
Bacteria	Grupo de salmonella	gastroenteritis
Virus	NN	hepatitis
Ameba	Entamoeba hystolica	disentería amébrica
Lombriz	Taenia saginata	triquinosis

**Tabla 1.1**

El agua para beber debe cumplir con una serie de requisitos de calidad física, química y biológica. Desde el punto de vista físico el agua debe ser traslúcida, con una turbiedad y color mínimo, según normas de las autoridades de Salud, inodora e insípida. Los requisitos de calidad química implican que el agua potable no debe contener los siguientes elementos o compuestos en concentraciones totales mayores que las indicadas en la tabla 1.2.

<b>Sustancia</b>	<b>Expresado Como</b>	<b>Límite máximo mg/l</b>
Amoníaco	N	0,25
Arsénico	As	0,05
Cadmio	Cd	0,01
Cianuro	CN <sup>-</sup>	0,20
Cloruros	CL <sup>-</sup>	250*

Cobre	Cu	1,0*
Compuestos fenólicos	Fenol	0,002
Cromo hexavalente	Cr	0,05
Detergente	SAAM	0,50
Flúor	F <sup>-</sup>	1,5
Hierro	Fe	0,3*
Magnesio	Mg	125
Manganeso	Mn	0,10*
Mercurio	Hg	0,001
Nitratos	N	10*
Nitritos	N	1,0
Plomo	Pb	0,05
Residuos sólidos filtrables	-	1000*
Selenio	Se	0,01
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250*
Cinc	Zn	5,0*

\* El ministerio de Salud puede aceptar un contenido mayor de estas sustancias.

**Tabla 1.2**

Para asegurar la salud de la población, al agua potable se le exige que no contenga microorganismos patógenos. Como no es práctico examinar todos éstos, se recurre a examinar bacterias del grupo coliforme (tabla 1.3), indicativa de la contaminación de animales y de la bacteria *Escherichia coli*, indicativa de contaminación fecal.

Coliformes	Cantidad NMP/100mL
totales	<5
fecales	<5

**NMP: número más probable.**

**Tabla 1.3**

Muchas de estas impurezas, incluyendo los microorganismos patógenos, los ácidos húmicos que son corrientemente responsables del color, los ácidos fúlvicos y los complejos arcilla-metal están en el rango del tamaño coloidal: 1 nm<sup>6</sup> a 10 µm<sup>7</sup> (1 nanómetro = 10<sup>-9</sup>m; 1 micrómetro = 10<sup>-6</sup>m). Los coloides son partículas de tamaño

<sup>6</sup> 1 nanómetro = 10<sup>-9</sup>m

<sup>7</sup> 1 micrómetro = 10<sup>-6</sup>m

intermedio entre las moléculas y las partículas suspendidas que tarde o temprano decantan por efecto de la gravedad. Es decir el estado coloidal está entre las soluciones y las suspensiones que terminan precipitando. Aunque las partículas coloidales son muy pequeñas, son lo suficientemente grandes como para dispersar la luz (efecto Tyndall) por lo que estas partículas comunican aspecto turbio u opaco al agua, a menos que estén muy diluidas. La mayoría de los coloides están cargados negativamente, por lo que en agua son estables debido a la repulsión electrostática entre estas partículas invisibles. Esta repulsión sobrepasa las fuerzas de atracción, por lo que no se aglomeran y por lo tanto no precipitan. El objetivo para obtener un agua limpia y sana, potable, de un agua natural, es remover los sólidos suspendidos, aglomerar y decantar los coloides y desinfectarla de organismos patógenos.

El agua natural, cruda o impura, puede provenir de ríos, lagos, embalses o de fuentes subterráneas. El tratamiento de estas aguas suele constar de varias etapas. En el caso de aducción superficial, el tratamiento comprende las etapas de filtración gruesa, sedimentación mediante el proceso fisicoquímico de coagulación-floculación, filtración por arena y desinfección. Después de la filtración gruesa a través de rejillas y mallas donde quedan piedras, ramas y otras impurezas que flotan o se arrastran, el agua se deja reposar en estanques desarenadores en los cuales se asienta la arena fina y otras partículas pequeñas. Luego el agua se hace pasar a otros estanques en los cuales coagulan las partículas muy finas, como las arcillas coloidales, mediante la adición de polímero, químico que produce la aglomeración de los coloides con formación de agregados coloidales, o flóculos que pueden decantar debido a su mayor tamaño y peso.

La coagulación implica tres etapas: adición de coagulante, desestabilización de la partícula coloidal y formación de flóculos. La adición de sales coagulantes como las ya dichas sulfato de aluminio, sulfato férrico o policloruro de aluminio, produce cationes poliméricos tales como  $[Al_{13}O_4(OH)_{24}]^{7+}$  y  $[Fe_3(OH)_4]^{5+}$  cuyas cargas positivas neutralizan las cargas negativas de los coloides, permitiendo que las partículas se unan formando aglomerados pequeños denominados flóculos.

La reunión de estos flóculos pequeños en conglomerados mayores (floculación) se realiza con ayuda de polímeros, que permiten la decantación a velocidades altas de

sedimentación. Debido a que la coagulación y la inmediata etapa de floculación ocurren muy rápidamente, en la práctica poco se distinguen.

Las dosis de coagulantes son mayores a 0,03 milimoles/litro como Fe y mayores a 0,05 mmol/L como Al y el pH más cercano al neutro, es el más adecuado. Los polímeros más usuales son: policloruro de aluminio.

Una vez decantados y filtrados los flóculos, a través de arena, el agua se somete a desinfección. El principal desinfectante que se emplea es el cloro. La disolución de este gas en agua a 25°C y 1 atmósfera de presión es aproximadamente 7g/L. Cuando el cloro se disuelve en agua, reacciona con ésta para formar ácido hipocloroso (HOCl):



A su vez el ácido hipocloroso se disocia parcialmente:



De todas estas especies que se generan por reacción con agua, sólo el  $\text{ClO}^-$  y HOCl son bactericidas, por lo que para cualquier tratamiento de desinfección es preciso operar a un pH que permita la máxima concentración de estas especies.

El agua desinfectada se filtra y debe quedar al menos con 0,2 mg/L de cloro residual para prevenirla de contaminación biológica en el camino de la planta.

## **ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO CASIGANA.**

1. **TOMA DEL CANAL O ESTACION DE BOMBEO.** Punto de captación de las aguas que llega por el Canal Huachi-Pelileo que se origina en el río Ambato o el bombeo desde la Estación Miraflores; **REJA.** Impide la penetración de elementos de gran tamaño (ramas, troncos, etc.).
2. **DESARENADOR.** Su finalidad es la separación de partículas minerales relativamente gruesas (Ej. arenas) que son transportadas por el agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento desde la fuente superficial y este evita sobrecargas en las fases siguientes del tratamiento.

3. **CAMARA DE MEZCLA.** Donde se agrega al agua productos químicos. Los principales son los coagulantes (polímero-policloruro de aluminio). El cual se agrega mediante el proceso automatizado de la dosificación y este va de acuerdo a la turbiedad con que esta ingresando el caudal.
4. **COAGULACION Y FLOCULACIÓN.** El proceso de coagulación, utilizado en la mayoría de las plantas de tratamiento, consiste en la aplicación de productos químicos para la desestabilización de suspensiones coloidales de partículas sólidas, que de otra manera, no podrían ser removidas por sedimentación, flotación o filtración, pasando o no por un proceso de floculación. El proceso permite asimismo la adsorción<sup>8</sup> y la precipitación de compuestos en solución.

El proceso de coagulación se caracteriza por la alteración físico-química de partículas coloidales del agua, color y turbiedad, produciendo su aglomeración en partículas sedimentables<sup>9</sup>.

El proceso completo se desarrolla en dos fases:

4. 1°) coagulación que comprende la adición de reactivos químicos con la finalidad de desestabilizar los coloides en suspensión.
4. 2°) floculación que promueve colisiones entre las partículas desestabilizadas en la coagulación, por efecto del transporte de fluido, formando partículas de mayor tamaño, visibles a la vista: los flóculos.

La coagulación y la floculación son parte de los procesos que integran una planta de filtración rápida. La coagulación se realiza inicialmente, mediante la mezcla rápida del coagulante con el agua y seguidamente, la floculación mediante agitación lenta del material coagulado para la formación de los flóculos.

Los coagulantes usuales incluyen sales de aluminio o de hierro. El coagulante más utilizado es el policloruro de aluminio o el sulfato de aluminio.

---

<sup>8</sup> Adsorción.- Concentración de sustancias disueltas, bien sobre la superficie de un sólido, bien alrededor de las partículas de un coloide en suspensión.

<sup>9</sup> Sedimentables.- materias que, habiendo estado en suspensión en un líquido, se posa en el fondo por la acción de la gravedad



El pH es un parámetro crítico en la eficiencia del proceso. Como el pH resultante depende del coagulante utilizado, de la dosis aplicada y de la alcalinidad, se debe conocer esos datos para optimizar el proceso, lo que se lleva a cabo mediante ensayos de coagulación en el laboratorio a través de pruebas de jarras o “jar-test”.

La dosificación de las sales de aluminio debe efectuarse en forma constante en el plano de la inyección, mediante un chorro continuo, a fin de que su dispersión en el agua sea inmediata y uniforme. Este chorro es proporcional al aumento de la turbiedad que esta ingresado el caudal a la planta de tratamiento, cual esta controlado a través del PLC, los variadores de frecuencia y sus respectivas bombas dosificadoras.

La floculación es el proceso de unir partículas previamente coaguladas y desestabilizadas para formar mayores flóculos<sup>10</sup> a fin de lograr su separación por sedimentación, flotación y/o filtración del agua tratada, especialmente para la remoción de sustancias que producen turbiedad y color en el agua a tratar.

La energía aplicada en la floculación, al igual que en la mezcla rápida, podrá efectuarse por medios hidráulicos, mecánicos o neumáticos. El que se utiliza en la planta de tratamiento es por medio mecánico.

Estos Floculadores de potencia (mecánicos) se distinguen básicamente por el tipo de movimientos giratorios y alternativos u oscilantes. Los primeros son de paletas que operan a bajas velocidades de rotación. Los segundos consisten en sistemas oscilantes y se distinguen entre si por la velocidad angular.

La floculación aumenta con el número de cámaras en serie, en la planta se encuentran dos cámaras en serie.

5. **SEDIMENTACION.** La sedimentación sirve para reducir la turbiedad y eliminar sustancias en suspensión que pueden separarse, en un tiempo razonable, por la sola acción de la gravedad.

---

<sup>10</sup> Flóculos.- sustancias que se forman en las precipitaciones de las sustancias coloidales

Se entiende por *sedimentación* la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios. La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido resuspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

En zonas donde no se tenga certeza de contar con personal capacitado para las tareas de operación y mantenimiento se recomienda el uso de ductos rectangulares de flujo horizontal, operados en forma continua.

El tiempo en el que, el agua es transportada debe ser suficiente para permitir que los sólidos en suspensión se asienten (partículas de mayor densidad que el agua) o floten (partículas de menor densidad que el agua).

El proceso de sedimentación se realiza en unidades denominadas en general sedimentadores. Las unidades donde sedimentan partículas floculentas se denominan indistintamente sedimentadores o decantadores. También se conoce como el nombre de decantadores para el caso de sedimentación de partículas floculentas, indicando al proceso como “decantación”.

6. **FILTRO.** La filtración es el proceso de separar un sólido del líquido en el que está suspendido al hacerlos pasar a través de un medio poroso (filtro) que retiene al sólido y por el cual el líquido puede pasar fácilmente. Se emplea para obtener una mayor clarificación, generalmente se aplica después de la sedimentación para eliminar las sustancias que no salieron del agua durante su decantación.

En la planta de tratamiento se realiza una filtración rápida descendente (con acción en profundidad) las partículas se retienen en todo el espesor del medio filtrante, en contraposición a la acción superficial, donde la retención es significativa sólo en la parte superior del medio filtrante. Independientemente del tipo de filtración, luego de un cierto tiempo de funcionamiento, existe la

necesidad del lavado del filtro, mediante el pasaje de agua y/o aire en el sentido ascendente con velocidad relativamente alta para promover el medio granular y el arrastre de las partículas retenidas, con la también eventual combinación con un lavado superficial o subsuperficial.

7. **DESINFECCIÓN.** Para asegurar aún más la potabilidad del agua, se le agrega cloro que elimina el exceso de bacterias y lo que es muy importante, su desarrollo en el recorrido hasta las viviendas. En las plantas de tratamiento de agua de gran capacidad, el cloro se aplica después de la filtración. Para obtener una desinfección adecuada, se utilizan desinfectantes químicos los cuales se deben dispersar uniformemente en el agua ya que una buena mezcla favorece el proceso, al permitir un íntimo contacto entre éstos y los organismos a eliminar.
8. **CONTROL FINAL.** Antes de llegar al consumo, el agua es severamente controlada por químicos expertos, que analizan muestras tomadas en distintos lugares del sistema.
9. **TANQUES DE DISTRIBUCION.** Desde donde se distribuye a toda la ciudad.

### **1.2.2 DOSIFICACION.-**

El primer punto de dosificación de productos químicos se lleva a cabo en el canal alimentador antes del punto de medición, adicionando polímero-policloruro de aluminio para iniciar el proceso de Coagulación-Floculación.

#### **Prueba de Jarras.-**

Las pruebas en jarras se utilizan para determinar las dosis más efectivas de coagulante para un agua específica durante el control de la coagulación y floculación en una planta de tratamiento, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente. Se puede utilizar también con objeto de determinar las velocidades de sedimentación para el diseño de tanques de sedimentación y conocer el potencial del agua cruda para la filtración directa.

## **Procedimiento.-**

Las pruebas en jarras con coagulantes requieren un agitador de laboratorio de 6 plazas o aparato para la prueba en jarras, así como también seis vasos de 2 litros. El procedimiento para llevar a cabo la prueba es:

1. Colocar un vaso de 2 litros debajo de cada una de las paletas de agitación.
2. Colocar en cada vaso exactamente 2 litros medidos con una probeta graduada, de una muestra fresca del agua cruda.
3. Anotar en la hoja de datos la cantidad de coagulante que se debe añadir a cada vaso. Esta cantidad variará de vaso a vaso.
4. Con cada pipeta, añadir el coagulante en cantidades crecientes en vasos sucesivos. Por ejemplo: 10 mg./l en el vaso #1, 20 mg/l en el vaso #2, etc.
5. Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos, arrancar el agitador y operarlo durante 1 min. a una velocidad de 60 a 80 rpm.
6. Reducir la velocidad al grado seleccionado de agitación (normalmente 30 rpm. Aproximadamente y permitir que la agitación continúe durante unos 15 min. Se debe procurar que el grado y tiempo de agitación iguallen las condiciones de operación de la planta de floculación.
7. Anotar cuánto tiempo transcurre antes de que se empiece a formar un flóculo.
8. Observar qué tan bien resiste éste, algo de agitación sin fragmentarse.
9. Una vez que transcurre el periodo de agitación, detener el agitador y anotar cuánto tiempo transcurre para que el flóculo se sedimente en el fondo del vaso.
10. Después de permitir que el flóculo se asiente durante 20 min., determinar el color y la turbiedad del sobrenadante (el líquido por encima de los flóculos).
11. En las hojas de registro se deben anotar las dosis, tiempo y velocidad de mezclado, pH, características de crecimiento de los flóculos y análisis del sobrenadante.
12. Después de permitir que el flóculo se asiente en el fondo durante 30 min., filtrar el sobrenadante a través de un papel filtro.
13. Filtrar otros 100 a 150 ml de muestra.
14. Determinar la turbiedad, pH, color y, si es necesario, el aluminio residual en el filtrado.

15. La jarra que proporcione los mejores resultados indica la dosis adecuada de coagulante para la planta en cuestión.

16. Las dosis de polímero raras veces exceden de 1 mg/ l.

Este procedimiento se lo lleva a cabo cada vez que un operador identifica visualmente el cambio de turbiedad, el caudal y color del agua. El equipo de dosificación proporcional y automatizada además de bombas dosificadoras permitirá una monitorización en continuo y un control de la dosis del coagulante adecuado.

### **1.3 IMPORTANCIA DEL MONITOREO DEL CAUDAL, TURBIEDAD, NIVEL DESDE LA ESTACION PRINCIPAL**

#### **1.3.1 Medición del Caudal.-**

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en plantas pilotos es muy importante la medición de caudal de líquidos o de gases.

Caudal es la cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

La medición y transmisión de esta variable es necesaria para conocer el balance de materia, raramente se mantiene constante, generalmente fluctúa y es una variable ruidosa cuando se mide.

La adecuada selección de los instrumentos para medirlas requiere un conocimiento estricto de las condiciones del proceso donde estará inmerso, destacándose que el elemento primario de medición (transductor o sensor) y su transmisor asociado pueden influir en la caracterización total del lazo cerrado de control, sumando, en algunos casos, alinealidades, tiempos muertos, capacitancias simples, tendencias a la oscilación y ganancias estáticas que influyen en el desempeño final del lazo mencionado.

La minimización de estos aspectos no deseados de los instrumentos de medición dependen en gran parte en escoger la tecnología apropiada según sea el proceso y en

virtud del costo, estas consideraciones son válidas para todos los instrumentos de medición de variables industriales.

La influencia de la variación del caudal en la operación de la planta de tratamiento, modifica muchos factores tales como el floculador mecánico, el efecto es perjudicial debido a su poca flexibilidad, ya que la velocidad permanece constante y el tiempo de residencia aumenta o disminuye de acuerdo con la variación del caudal.

EMAPA tiene la necesidad de un constante monitoreo del caudal de entrada a la planta de tratamiento CASIGANA; aproximadamente 250 litros/seg hasta 300 litros/seg. Se captan desde las tomas del río Ambato y cuando este caudal disminuye en un 40% la empresa debe suplir este déficit bombeando agua desde la Estación de Bombeo de Miraflores lo cual es costoso y poco rentable, debido a esto con una medición del caudal que ingresa a la empresa puede prever la producción de agua potabilizada antes de tener una baja considerable de caudal en su planta de tratamiento y dejando a esta inoperable.

### **1.3.2 Medición de Turbiedad.-**

“La turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación”.

La causa de la turbidez del agua de bebida puede deberse a un tratamiento insuficiente en la planta de potabilización o a que el sedimento ha vuelto a quedar en suspensión en el sistema de distribución, así como a la existencia de conexiones cruzadas en el mismo. Elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro. En muchos casos no se logra destruir los patógenos y las bacterias fecales, aglomerados o absorbidos por partículas. También diversas sustancias químicas peligrosas como metales pesados, y otras partículas orgánicas. El pH ácido del estómago humano puede acelerar la liberación de iones de metales y herbicidas, con riesgo aumentado de absorción.

Todos estos riesgos se acentúan cuando la turbidez es superior a 5 UNT (unidades nefelométricas de turbidez), valor que no debe sobrepasar ninguna muestra. Por lo tanto,

la turbidez debe ser baja para que la desinfección sea eficaz y que bajen los riesgos de que el agua potable vehiculice tóxicos que se manifiesten en diversas enfermedades crónicas. Debe destacarse además la importancia de la presencia de algas, rotíferos y otras especies, como parte de un fito y zooplancton detectable no solo en los cursos de agua superficiales sino también en las redes de distribución, aún con valores de turbidez de 0,5 UNT. Este hecho ha llevado a incorporar normas de calidad para el agua de consumo.

Otro aspecto importante es que componentes de las partículas orgánicas que generan turbidez servirán también de nutrientes para los microorganismos que logren sortear el tratamiento de la planta o que se incorporen por algún mecanismo en la red de distribución y los tanques de almacenamiento.

La turbidez del agua se genera por la presencia de partículas en suspensión. La velocidad de sedimentación de las partículas pequeñas (menores al micrón de diámetro) es muy baja, por lo que requieren tratamiento para lograrla en tiempos útiles.

Las mayores a un micrón sedimentan espontáneamente. Mientras algunas son de naturaleza inorgánica (arcillas, fangos y óxidos minerales), que provienen de la erosión del suelo, otras son de naturaleza orgánica (bacterias, parásitos, algas, zooplancton, ácidos fúlvicos y coloides húmicos).

Además de las fuentes naturales, las actividades humanas generan efluentes cargados de estas partículas y el aporte de otras sustancias que pueden combinarse con ellas (virus entéricos, contaminantes químicos, cloro, etc...) tanto en el cuerpo de agua como en las plantas y redes de distribución. Según el tamaño, la composición química y otras variables dependientes del agua serán los tratamientos efectivos para eliminarlas.

La operación adecuada de una planta de tratamiento logra niveles muy bajos, recomendándose valores inferiores a 1 UNT. La Empresa de Agua Potable contempla como nivel máximo admisible 0.7 UNT. Si una planta funciona adecuadamente se obtendrán regularmente valores muy por debajo de estos límites. Uno de los comentarios frecuentemente escuchados para explicar los picos de alta turbidez que se observan en el agua de salida y en la red de nuestra ciudad es que las lluvias locales y otros factores alteraban de tal manera el agua de ingreso a la planta que superaban las

posibilidades de clarificación. También se ha manifestado, en declaraciones y documentos públicos, que la turbidez no tiene importancia sanitaria.

Para poder llevar a la práctica un enfoque de calidad total en estos servicios es muy importante el uso de indicadores directos e indirectos para controlar el riesgo de contaminación fecal y química, y monitorear los procesos internos de tratamiento del agua. En este último sentido, es de utilidad la medición previa (agua de ingreso) para seleccionar el tratamiento adecuado, y la posterior a las distintas etapas involucradas para ir perfeccionando el funcionamiento de la planta.

Observar el comportamiento de la turbidez de ingreso y salida en relación con la medición de las lluvias locales para elaborar una hipótesis de investigación al respecto.

### **1.3.3 Medición del Nivel.-**

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

La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables, tales como la presión y la temperatura, permite añadir “inteligencia” en la medida del nivel, y obtener precisiones de lectura altas, del orden del 0,2 %, en el intervalo de materias primas o finales o en transformación en los tanques del proceso. El transmisor de nivel “inteligente” hace posible la interpretación del nivel real (puede eliminar o compensar la influencia de la espuma en flotación del tanque, en la lectura), la eliminación de las falsas alarmas (tanques con olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimiento), y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión.

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



## Instrumentos para medición y control de nivel Fig. 1.1

Los instrumentos de medida directa se dividen en:

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

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

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

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

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

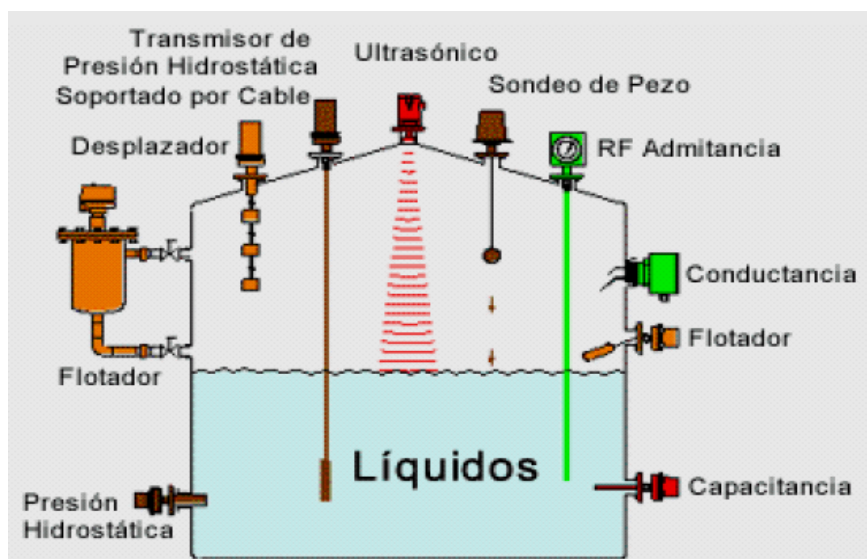


Figura 1.1 Instrumentos para medición de Nivel

## 1.4 BOMBAS DOSIFICADORAS MILTON ROY



**Fig. 1.2 Bombas Dosificadoras Milton Roy**

### 1.4.1 Descripción

La bomba Dosificadora Milton Roy Serie G modelo B Fig. 1.2 es una bomba dosificadora electromecánica compacta, lubricada con aceite en carter<sup>11</sup> cerrada, con caudal regulable en marcha o parada.

Se compone de las siguientes partes (Fig. 1.3):

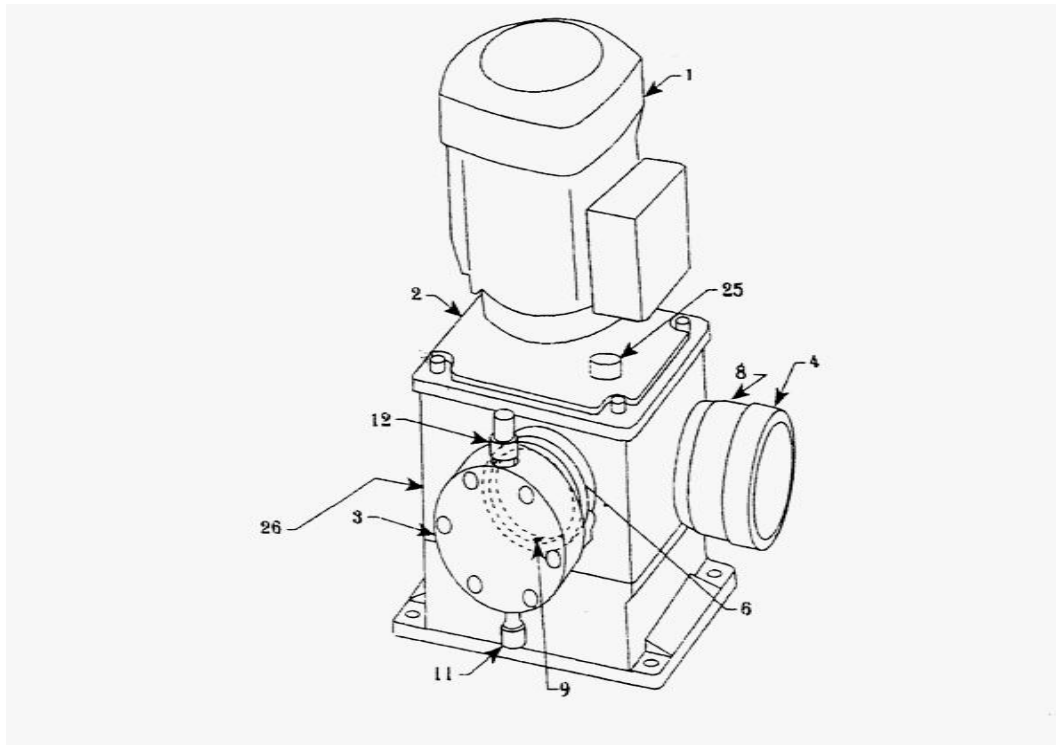
- un dispositivo de accionamiento constituido por un motor
- un conjunto mecánico
- un dosificador

Un fuelle<sup>12</sup> asegura la estanqueidad entre el conjunto mecánico y el dosificador. El mando de regulación del caudal puede ser manual (con el tornillo micrométrico graduado) o automático (mediante servomotor, por ejemplo)

---

<sup>11</sup> Carter.- cubierta rígida que sirve para proteger las piezas de una maquina que giran con rapidez, contra la intrusión de cuerpos extraños.

<sup>12</sup> Fuelle.- es un dispositivo mecánico cuya función es la de contener aire para expelerlo a cierta presión y en cierta dirección para diversos fines



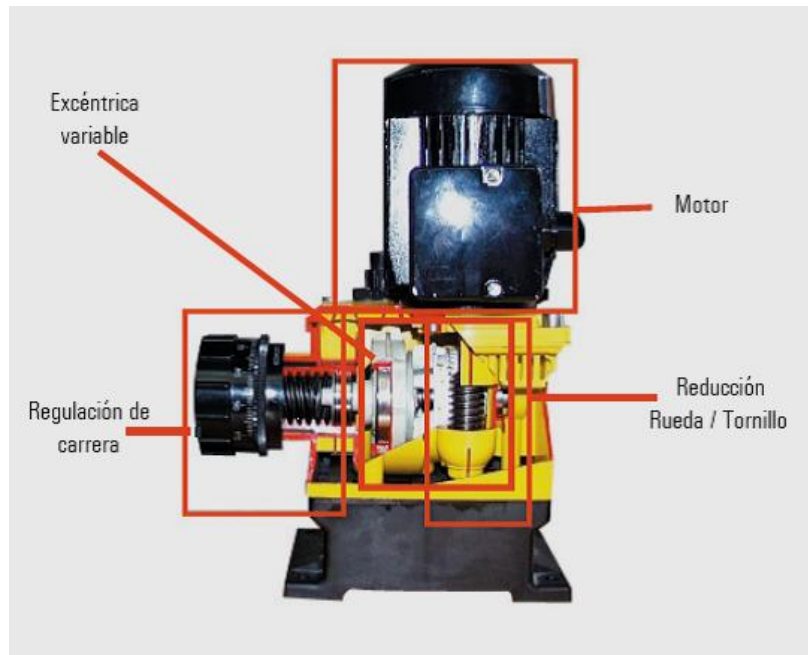
**Fig. 1.3 Partes Externas de la Bomba Dosificadora Milton Roy**

1	Motor	9	Orificio de detención de fugas
2	Conjunto Mecánico	11	Caja de válvulas de aspiración
3	Dosificador	12	Caja de válvulas de descarga
4	Mando micrométrico	25	Tapón de senado
6	Conjunto fijación dosificador	26	Tapón de vaciado
8	Tornillo de bloqueo del mando micrométrico		

**Tabla 1.4 Partes de la Bomba Dosificadora Milton Roy**

#### 1.4.2 Partes de la Bomba Dosificadora Milton Roy

a) El dispositivo de accionamiento de una Bomba dosificadora electromecánica generalmente es un motor eléctrico. Se encuentran accionamientos por motor de explosión o por motor de gas. Cuando el dispositivo motriz es de velocidad variable, la bomba dosificadora electromecánica ofrece, entonces, la posibilidad de una cadencia variable.



**Fig. 1.4 Partes Internas de la Bomba Dosificadora Milton Roy**

**b) El conjunto mecánico de una bomba dosificadora electromecánica** comprende:

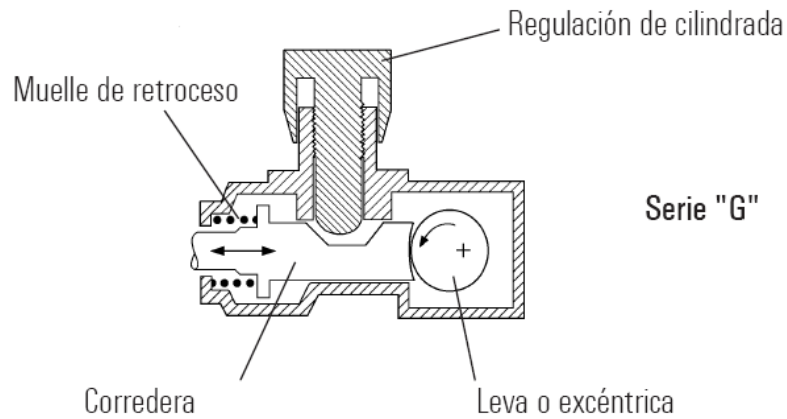
- El reductor de engranaje (a menudo de tipo rueda y tornillo sinfín).
- El mecanismo de transformación de movimiento rotativo del sistema de arrastre en movimiento alternativo de la corredera.
- El dispositivo de regulación de la cilindrada.

Existen varios principios de funcionamiento:

La figura abajo esquematiza el principio de un mecanismo de leva excéntrica y retroceso por muelle.

La regulación de la cilindrada de la bomba se obtiene por reglaje del tope mecánico de la corredera en su fase de retorno. Este principio de diseño está muy generalizado y es realmente muy sencillo. Está generalmente reservado por las bombas de potencia reducida, debido a los choques mecánicos e hidráulicos que se producen. La figura 1.4 ilustra el principio de una versión del principio de excéntrica variable, aquí concretamente una versión con doble excéntrica. La variación de la cilindrada se obtiene por variación de la amplitud del movimiento sinusoidal del pistón; la bomba no genera choques hidráulicos ni mecánicos.

Las bombas dosificadoras Milton Roy de la serie "G" son bombas con doble excéntrica de este tipo.

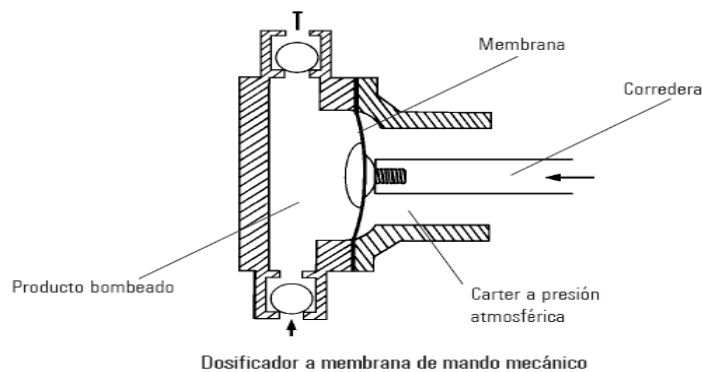


**Fig. 1.5 Conjunto Mecánico de la Bomba Dosificadora**

c) **Dosificador de membrana de mando mecánico** en la figura 1.6 está esquematizada una bomba de membrana de mando mecánico. La membrana va directa y mecánicamente fijada al cuadro móvil de la mecánica, su centro se desplaza con la carrera de la bomba y la estanqueidad se obtiene en la periferia.

La membrana trabaja en desequilibrio de presión: presión del fluido transportado lado proceso y presión atmosférica del aire ambiente en su cara opuesta. Esta característica está en origen de otra aplicación: membrana seca.

La utilización de membranas de mando mecánico está limitada a bajas presiones de impulsión. Las bombas dosificadoras Milton Roy de las series "G" están provistas de dosificadores de membrana de mando mecánico.

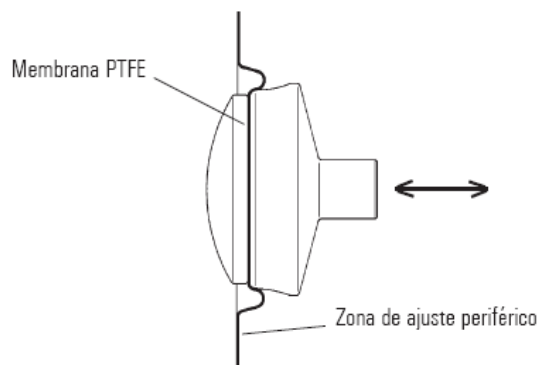


**Fig. 1.6 Dosificador de Membrana**

#### d) Membrana de mando mecánico

Las membranas mecánicas de las bombas dosificadoras "G" de Milton Roy son membranas de PTFE<sup>13</sup>, material elegido por su inercia química. Estas membranas, especialmente termoformadas, permiten:

- Un trabajo en desarrollo (que garantiza la precisión del dosificado).
- Una resistencia mecánica de cara a tensiones externas de forma a que la presión de impulsión se ejerce en una sola cara o en la zona de ajuste en periferia.
- Una resistencia mecánica de cara a las tensiones internas unidas al desarrollo de la voluta<sup>14</sup>. La figura 1.7 representa una membrana de este tipo.



**Fig. 1.7 Membrana de mando mecánico**

Con relación a otras tecnologías de fabricación de las membranas mecánicas, las membranas Milton Roy ofrecen una excelente relación diámetro útil del orden de 5 (10 a 20 sobre los otros modelos del mercado).

Ofrecen, igualmente, características de caudal notables: menos de 10% de caída entre caudales a presión atmosférica y caudales a 10 bar, mientras que las tecnologías de fabricación tradicional pueden ocasionar caídas del caudal del 20% (40% en algunos modelos).

---

<sup>13</sup> Membranas de PTFE.- proporciona una excelente liberación de partículas durante la limpieza por pulsaciones y tiene muy buena tolerancia química

<sup>14</sup> Voluta.- forma de espiral

### 1.4.3 Principio de Funcionamiento de la Bomba

El **conjunto mecánico** funciona por el principio de la excéntrica variable. El movimiento del motor se transmite por medio del fin a la rueda tangente, unida a un sistema excéntrico.

La biela fijada a este excéntrico transforma el movimiento rotativo en un movimiento lineal alternativo de carrera variable. La longitud de carrera depende de la excentricidad entre el eje de rotación de la rueda tangente (A) y el eje de la biela (B). La carrera se regula desplazando la corredera (6) con un tornillo de ajuste. Al desplazarse la corredera desplaza a su vez la excentricidad macho y esta última modifica la posición del eje de la biela.

Cuando el eje (B) de la biela esta alineado con el eje de la rueda tangente (A), la biela no se desplaza y la carrera es nula.

- La figura 1.8 muestra el esquema de principio con carrera nula.
- La figura 1.9 muestra el esquema de principio con carrera máxima.

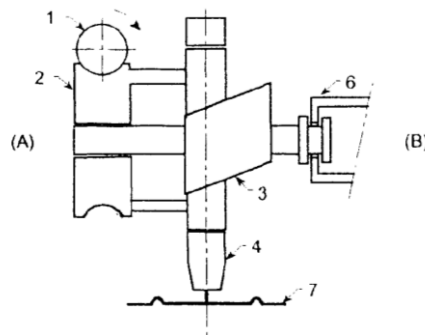


Fig.1.8 Ajuste de Carrera Nula.

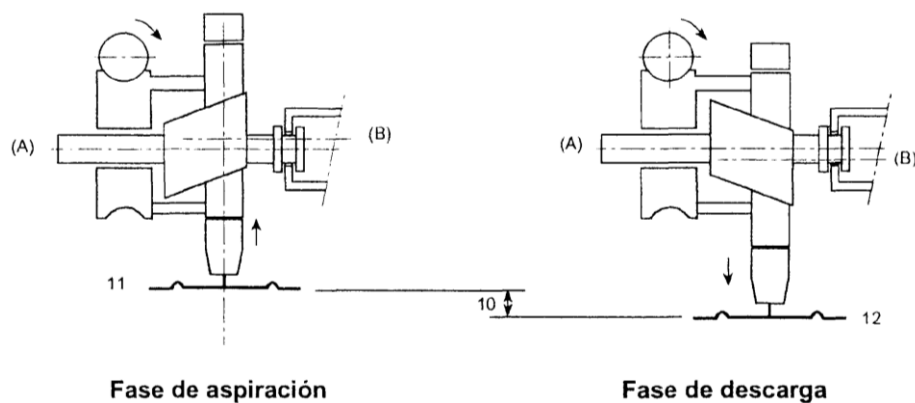


Fig.1.9 Ajuste de Carrera Máxima.

## Dosificador de Membrana de Mando Mecánico.

La membrana (7) fig. 1.8 esta unida mecánicamente a la biela (4) y describe el mismo movimiento alternativo. Durante la fase de aspiración el desplazamiento de la membrana permite que se aspire un determinado volumen de líquido y durante la fase de descarga se invierte el proceso y la membrana expulsa el líquido.

### 1.4.4 Instalación.

#### 1.4.4.1 Instalación Hidráulica.

Tubería del circuito de Aspiración:

- Comprobar si el diámetro y la longitud de la tubería son compatibles con el caudal máximo de la bomba.
- Instalar la bomba lo más cerca posible de la cubeta de aspiración.

Tubería del circuito de Descarga:

- Se recomienda prever una válvula de seguridad en la tubería de descarga para proteger la instalación.
- Se recomienda instalar una válvula de cebado en el circuito de descarga para facilitar la puesta en marcha y el mantenimiento de la bomba.

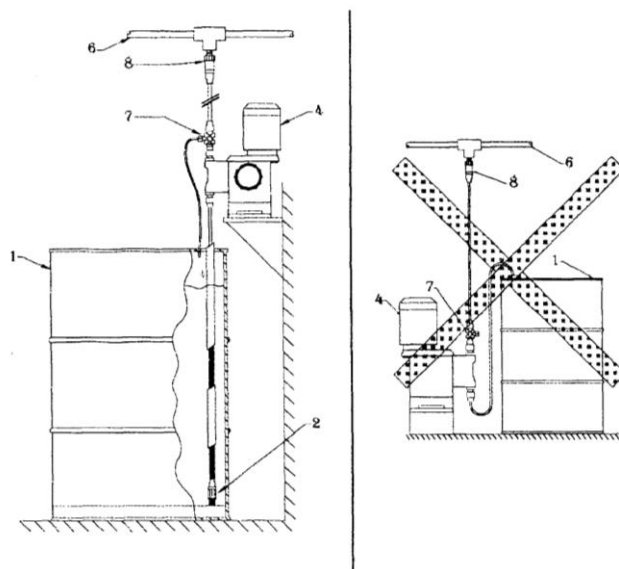


Fig. 1.10 Esquema de Instalación.



#### 1.4.4.2 Emplazamiento

Fijar la bomba sobre un soporte horizontal. Dejar suficiente espacio libre alrededor de la bomba para el mantenimiento y los ajustes.

Las bombas instaladas en el exterior deberán resguardarse de la intemperie mediante un cobertizo adecuado (en función de las condiciones climáticas)

#### 1.4.4.3 Instalación Eléctrica

Conectar el motor siguiendo las indicaciones contenido en la caja de bornes del motor (Fig. 1.11)

Para la conexión a 230 V, CORRIENTE TRIFASICA, hacer un montaje en triangulo (Fig. 1.12)

Para la conexión a 400 V, CORRIENTE TRIFASICA, hacer un montaje en estrella (Fig. 1.13)

Para la conexión a una instalación MONOFASICA se encuentra en la Fig. 1.14

La protección eléctrica del motor (fusible o ruptor térmico) deberá corresponder a la intensidad nominal del motor.

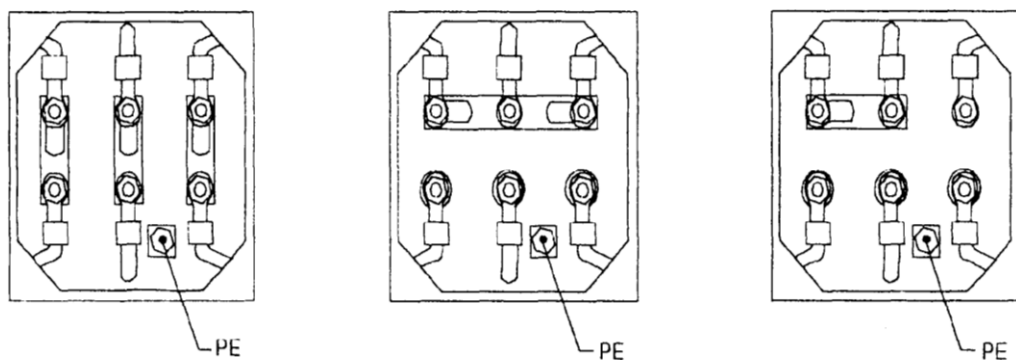
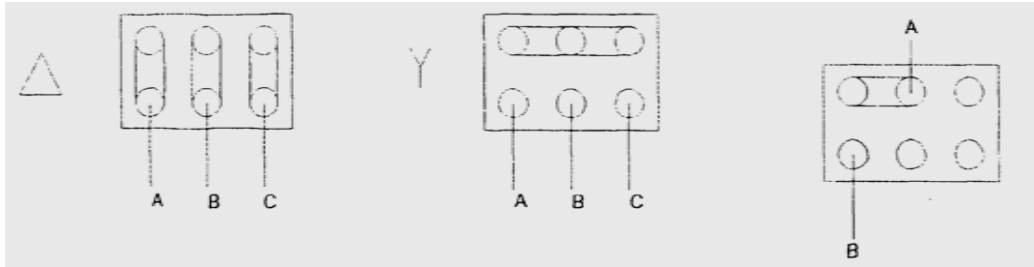


Fig. 1.11 Cajas de Bornas del Motor



**Fig. 1.12**

**Conexión a 230 V en triángulo**

**Fig.1.13**

**Conexión a 400V en triángulo**

**Fig.1.14**

**Conexión monofasica**

### 1.4.5 Puesta en Servicio.

#### a) Procedimientos Previos a la Primera Puesta en Marcha.

El personal deberá adoptar las precauciones de empleo inherentes a los productos químicos utilizados en el proceso (ácidos, bases, polímeros, oxidoreductores, etc.....)

- Comprobar la fijación de la bomba al soporte
- Quitar el tapón (25) y llenar el cárter con el aceite mecánico suministrado (2.8 litros aproximadamente). Comprobar el nivel con la varilla del tapón (25)
- Verificar la apertura de todas las válvulas de aislamiento dispuesta en los circuitos de aspiración y descarga.
- Ajustar el caudal de la bomba al 0% (mando micrométrico)
- Comprobar el sentido de giro deberá coincidir con el indicado en la flecha estampada en el cárter de la bomba.

#### b) Primera Puesta en Marcha.

- Una vez realizadas todas las comprobaciones y procedimientos descritos anteriormente, poner en marcha a la bomba.
- Efectuar una comprobación visual y auditiva
- Comprobar que el mando de ajuste micrométrico esta desbloqueado y ajustar el caudal de la bomba progresivamente del 0% al 100% vigilando la salida del líquido por la válvula de cebado o por la descarga.
- En cuanto el líquido a bombear salga por la válvula de cebado o por la de descarga, la bomba estará cebada por el lado del proceso. Cerrar la válvula de cebado o conectar la tubería de descarga.

- Ajustar la bomba al caudal deseado. Bloquear el mando micrométrico con el tornillo de bloqueo (8) (Fig. 1.2)

## **1.4.6 Mantenimiento Básico**

### **1.4.6.1 Vaciado Aceite Mecánico**

- Efectuar el primer vaciado del carter después de las primeras 250 horas de funcionamiento. Los vaciados siguientes se realizarán cada 2500 horas de funcionamiento o cada seis meses.
- Desconectar la electricidad de la Bomba. Cerciorarse de que es imposible poner en marcha el material accidentalmente.
- Desroscar el tapón (26) y drenar el aceite en un recipiente adecuado para las condiciones de utilización (2.8 litros aproximadamente). Comprobar el nivel con la varilla del tapón (25).
- Limpiar inmediatamente cualquier derrame de aceite con un desengrasante adecuado para las condiciones de utilización.

### **1.4.6.2 Comprobación del caudal de la Bomba**

Se trata de determinar la curva que representa el caudal de la bomba en función del valor de ajuste.

Son suficientes cuatro mediciones (ajuste a 100%, 75%, 50%, 25%).

Colocar la válvula de pie en una cubeta de calibración (deposito graduado). Medir el volumen de líquido bombeado durante un tiempo dado a los distintos ajustes. Trazar la curva deseada y utilizarla para determinar el ajuste correspondiente al caudal deseado.

## CAPITULO II

### DESCRIPCION DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACION

#### 2.1 SENSORES Y TRANSDUCTORES.

##### **Sensor.-**

Un sensor es un dispositivo que detecta manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, como la [energía](#), la temperatura, la radiación electromagnética, la velocidad, la aceleración, el tamaño, la cantidad, el caudal, el nivel, la presión etc.

Muchos de los sensores son [eléctricos](#) o [electrónicos](#), aunque existen otros tipos. Un sensor es un tipo de [transductor](#) que transforma la magnitud que se quiere medir, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa (ejemplo. un termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor [analógico](#) a [digital](#), un [computador](#) y un [display](#)) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

Junto con los sensores electrónicos, uno de los más importantes debido a sus campos de aplicación están los sensores químicos. Estos se han utilizado con éxito en medio ambiente, medicina y procesos industriales.

A continuación se indican algunos tipos y ejemplos de sensores electrónicos:

- Sensores de temperatura: [termopar](#), [termistor](#).
- Sensores de deformación: [galga extensiométrica](#), piezoeléctrico.
- Sensores de luz: [fotodiodo](#), [fotorresistencia](#), [fototransistor](#).

- Sensores de sonido: [micrófono](#).
- Sensores de contacto: [final de carrera](#).
- Sensores de proximidad: [sensor de proximidad](#).

Por lo general la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesado, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, como por ejemplo un [puente de Wheatstone](#), y [amplificadores](#) que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuitería.

### **Selección de los Sensores en la Automatización.**

La selección se basa en la decisión sobre cual es el sensor más adecuado. Esto depende del material del objeto el cual debe detectarse, su flexibilidad y su costo.

Por ejemplo si el objeto es metálico, se requiere un sensor inductivo. Si el objeto es de plástico, papel, o si es líquido (basado en aceite o agua), granulado o en polvo, se requiere un sensor capacitivo. Si el objeto puede llevar un imán, es apropiado un sensor magnético.

### **Transductor.-**

Un transductor es un dispositivo que transforma un tipo de variable física (por ejemplo, fuerza, presión, temperatura, velocidad, caudal, nivel, etc.) en otro.

Un sensor es un transductor que se utiliza para medir una variable física de interés. Algunos de los sensores y transductores utilizados con más frecuencia son los calibradores de tensión (utilizados para medir la fuerza y la presión), los termopares (temperaturas), los velocímetros (velocidad).

Cualquier sensor o transductor necesita estar calibrado para ser útil como dispositivos de medida. La calibración es el procedimiento mediante el cual se establece la relación entre la variable medida y la señal de salida convertida.

Los transductores y los sensores pueden clasificarse en dos tipos básicos, dependiendo de la forma de la señal convertida. Los dos tipos son: **Transductores analógicos** y **Transductores digitales**.

Los **transductores analógicos** proporcionan una señal analógica continua, por ejemplo voltaje o corriente eléctrica. Esta señal puede ser tomada como el valor de la variable física que se mide.

Los **transductores digitales** producen una señal de salida digital, en la forma de un conjunto de bits de estado en paralelo o formando una serie de pulsaciones que pueden ser contadas. En una u otra forma, las señales digitales representan el valor de la variable medida. Los transductores digitales suelen ofrecer la ventaja de ser más compatibles con las computadoras digitales que los sensores analógicos en la automatización y en el control de procesos.

## **Características deseables de los Transductores.**

### **Exactitud.**

La exactitud de la medición debe ser tan alta como fuese posible. Se entiende por exactitud que el valor verdadero de la variable se pueda detectar sin errores sistemáticos positivos o negativos en la medición. Sobre varias mediciones de la variable, el promedio de error entre el valor real y el valor detectado tenderá a ser cero.

### **Precisión.**

La precisión de la medición debe ser tan alta como fuese posible. La precisión significa que existe o no una pequeña variación aleatoria en la medición de la variable. La dispersión en los valores de una serie de mediciones será mínima.

### **Rango de funcionamiento.**

El sensor debe tener un amplio rango de funcionamiento y debe ser exacto y preciso en todo el rango.

### **Velocidad de respuesta.**

El transductor debe ser capaz de responder a los cambios de la variable detectada en un tiempo mínimo. Lo ideal sería una respuesta instantánea.

## **Calibración.**

El sensor debe ser fácil de calibrar. El tiempo y los procedimientos necesarios para llevar a cabo el proceso de calibración deben ser mínimos. Además, el sensor no debe necesitar una recalibración frecuente. El término desviación se aplica con frecuencia para indicar la pérdida gradual de exactitud del sensor que se produce con el tiempo y el uso, lo cual hace necesaria su recalibración.

## **Fiabilidad.**

El sensor debe tener una alta fiabilidad. No debe estar sujeto a fallos frecuentes durante el funcionamiento.

### **2.1.1 TRANSMISOR DE CAUDAL.**

La medición fiable del caudal de líquidos de la más diversa consistencia así como de gases y vapores juega un papel muy importante en la automatización de procesos. EMAPA ha adquirido para la medición de esta variable un caudalímetro ultrasónico que no tiene contacto con el fluido y es de alta exactitud.

#### **Caudalímetro Ultrasónico.-**

El principio de medición por retardo de propagación se basa en el hecho de que la velocidad de propagación del ultrasonido en un fluido depende de la velocidad a que se desplaza dicho fluido. En forma similar a un nadador que nada en contra de la corriente, una señal de ultrasonido se desplaza más lentamente en contra de la corriente que a favor de la misma.

En sistemas de ultrasonido la energía es transmitida en forma de trenes de pulsos de alta frecuencia (por encima de los 20 Khz., límite de las audibles) y suelen emplear cerámicas o piezoeléctricas, tanto para generadores como para receptores. Normalmente se usan para medidas de unos 5 a 10 m (en el aire). Debido a las dificultades de la medida en el tiempo de vuelo con suficiente resolución, estos sistemas no son muy utilizados para distancias menores de 300 mm.

## Caudalímetro de Canal Abierto CHANFLO™.

Este caudalímetro (Fig. 2.1) se usa para la medida de caudal en canales abiertos y vertederos. El método de medida y linealización cumple con la norma ISO 1438. Esta norma indica como los vertederos y canales son construidos y como calcular la linealización. El índice de flujo esta determinado usando la siguiente función matemática:

$$\text{Caudal}_Q = f(\text{nivel}^x * \text{constante})$$

Donde el exponente  $x$  y la constante dependen del vertedero o canal.



Fig. 2.1 Caudalímetro de Canal Abierto CHANFLO™.

El caudalímetro de canal abierto DANFOSS mide el nivel. Dentro del amplificador se linealiza la señal para que sea proporcional al caudal. El caudalímetro calcula el caudal en base a los dos principios siguientes:

- Formulas prefijadas para distintas dimensiones de los vertederos y canales más comunes, por ejemplo canales Parshall, canales Venturi, vertederos con muesca triangular y vertederos rectangulares. Cuando se usan otros canales o vertederos se pueden programar el exponente y el factor de cálculo de la fórmula anterior.
- Cuando no existe una fórmula de cálculo, se puede introducir una serie de valores  $Q/h$  y se puede hacer una linealización de puntos a base de ellos. Este método se usa, por ejemplo, para canales que no cumplen con el estándar ISO 1438.



## Sensor Ultrasónico.

Se monta el sensor ultrasónico detrás del vertedero con una distancia de 3-4 veces la altura máxima. El haz de señal del sensor ultrasónico tiene una extensión muy estrecha. La distancia al nivel más alto de la medición no puede ser menor que la banda muerta y este no puede ser más que el alcance del sensor.

EMAPA de acuerdo al transmisor de caudal ha construido un vertedero triangular (Fig.2.2) que facilita la operación del medidor para la aplicación en la automatización.

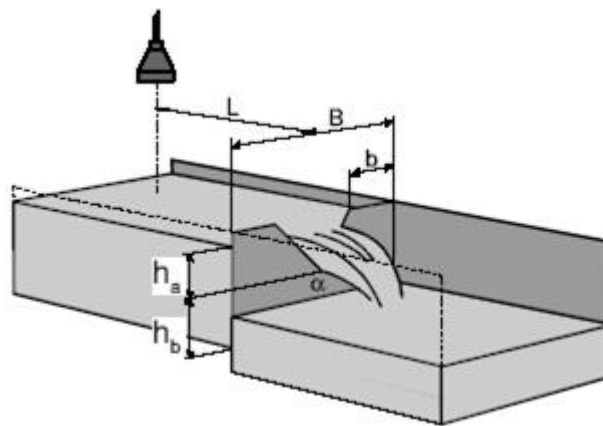


Fig. 2.2 Vertedero Triangular De acuerdo a ISO 1438.

### 2.1.2 TRANSMISOR DE TURBIEDAD.

La turbidez está causada por sólidos suspendidos incluyendo limo, arcilla, algas y demás microbios, materia orgánica y otras partículas delgadas insolubles en los medios de muestra. Las partículas hacen que la muestra tome un aspecto indefinido o turbio. En el agua potable, ciertos organismos perjudiciales o las partículas que los protegen de los procesos de desinfección afectan en forma adversa la calidad del agua. Para asegurar un suministro de agua potable seguro, se requieren por ley plantas de tratamiento del agua para mantener una turbidez baja y uniforme del producto terminado.

En otros líquidos, la turbidez puede ser causada por partículas perjudiciales para uso final o quizás por partículas que son el ingrediente vital de un producto. En ambos casos, la turbidez es una medición del control de calidad para monitorear la eficiencia del tratamiento o del proceso de fabricación.

Dentro de algunas de las aplicaciones típicas se incluyen:

- Agua potable.- La turbidez del influente se mide con un instrumento de amplio rango que ayuda a establecer los requisitos del tratamiento. El agua terminada se monitorea con un turbidímetro de rango bajo para asegurar la correcta operación de la planta y satisfacer los requisitos de registros de regulación.

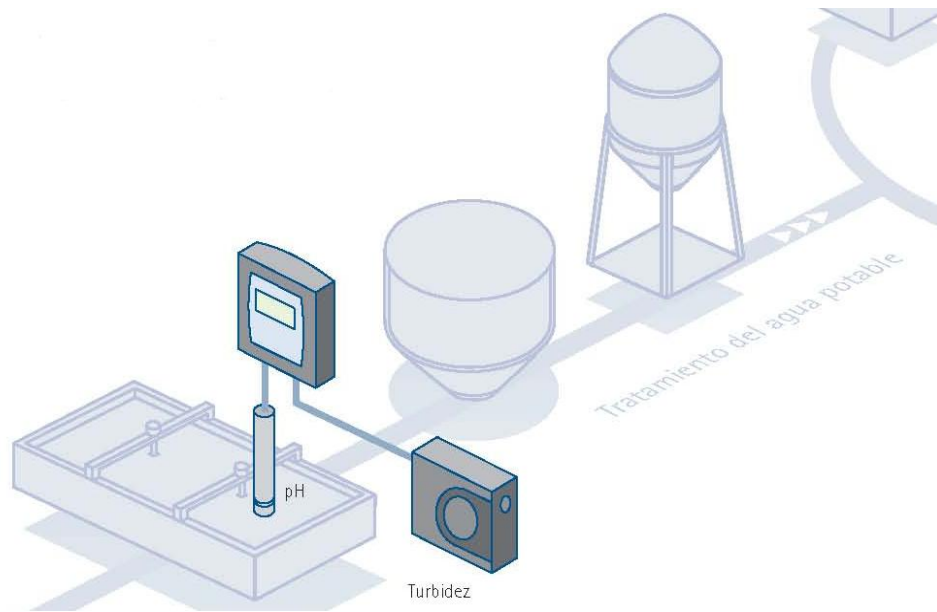
### **Transmisor Turbiedad Hach SC 100™.**

El **Hach SC 100™** es la interconexión ideal entre el usuario y la planta con un fácil manejo, versatilidad contrastada y eficacia duradera. (Fig. 2.3).



**Fig.2.3 Transmisor Turbiedad Hach SC 100™.**

El **SC 100** puede emplearse con hasta dos sensores al mismo tiempo, y estos se pueden parametrizar fácilmente. Para cualquier combinación de parámetros, p. ej. Oxígeno y concentración de sólidos (Fig. 2.4). Es ideal para realizar trabajos de medición de forma descentralizada. Los valores medidos se muestran in situ y, opcionalmente, pueden transmitirse a sistemas de control mediante un bus de campo o de forma analógica. Puede, por lo tanto, llevar a cabo pequeñas tareas de automatización simples de forma descentralizada y económica sin módulos externos adicionales.



**Fig. 2.4 Conexión de dos Sensores.**

Es de gran utilidad para el tratamiento del agua potable y la depuración de las aguas residuales municipales e industriales. Controla, plantas pequeñas que operan intermitentemente. En el sector del agua potable vigila la eficacia del tratamiento y, en caso de necesidad, activa las bombas dosificadoras y las alarmas a su debido tiempo.

El SC 100 guarda los valores medidos de los sensores conectados a intervalos libremente programables. Su memoria puede alojar los valores obtenidos durante varios meses y también contiene los datos de calibración, los mensajes de alarma y los cambios de los parámetros de ajuste. Cuando sea necesario, los datos se pueden transmitir a un PC para procesarlos, a través de una tarjeta de salida digital mediante protocolos de comunicación ModBUS RS485 o ModBUS RS 232.

### **Información General del Sensor.**

El Sistema de Oxígeno Disuelto Luminiscente SC100 permite el análisis exacto y fácil de concentraciones de oxígeno disuelto en muestras acuosas. Especialmente diseñado para el tratamiento de agua realizado por entidades municipales o gubernamentales y aguas residuales industriales. El sistema consiste de un transmisor con su respectiva pantalla integrada y un sensor (electrodo con el capuchón del sensor) para mediciones en línea.

El SC 100 posee encapsulamiento NEMA 4X/IP66 con acabado resistente a la corrosión especialmente diseñado para resistir ambientes corrosivos como los salinos y/o contaminados con sulfuro de hidrógeno. La pantalla muestra la lectura actual de

oxígeno disuelto como también la temperatura de la muestra si esta conectado a un solo sensor, o dos lecturas de oxígeno disuelto con sus correspondientes temperaturas cuando han sido conectados dos sensores. Equipo opcional como herrajes de montaje para el electrodo es suministrado con las instrucciones respectivas para su adecuada instalación. Varias opciones de montaje están disponibles, permitiendo que el sensor sea adaptado para uso en diferentes aplicaciones. Las aplicaciones típicas incluyen tanques de aireación, remoción de nutrientes en tanques de igualación, corrientes efluentes, ríos, lagos y lagunas para pesca. Diferentes posibilidades de instalación permiten la adaptación a las más variadas condiciones de aplicación.

### **Principio de Medición del Sensor.**

El sensor está cubierto por un material luminiscente. Emitida por un LED, se topa una luz azul con las sustancias luminiscentes sobre la superficie del sensor.

Estas sustancias se excitan instantáneamente y emiten una luz roja al pasar nuevamente al estado de reposo, la cual se registra por un fotodiodo. Además se mide el tiempo de traspaso hacia el estado de reposo. Mientras mayor resulta la concentración de oxígeno, menor será la luz roja emitida por el sensor.

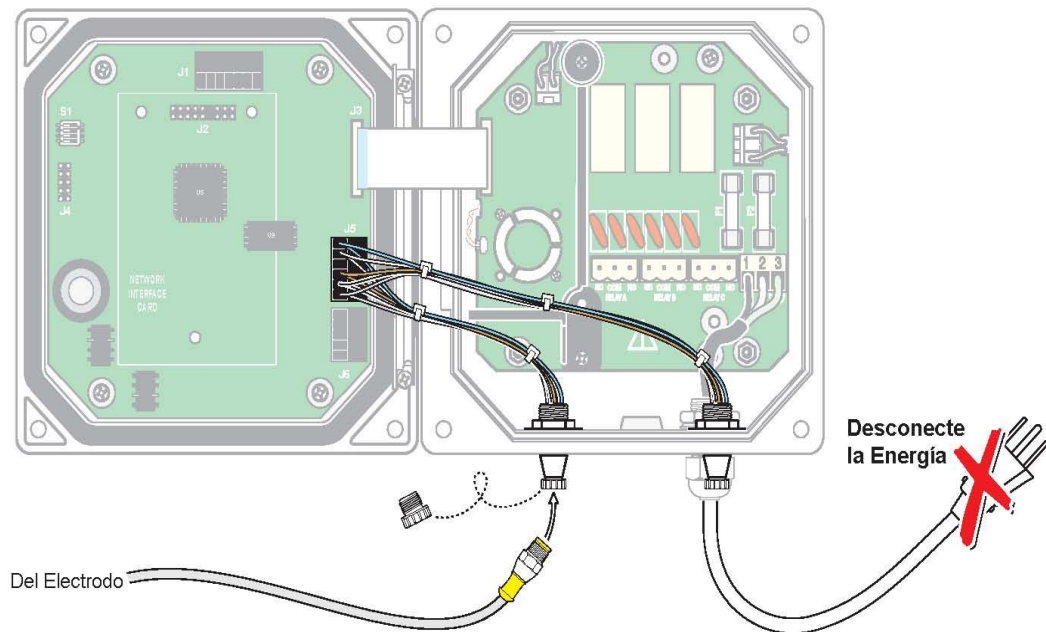
La concentración de oxígeno es proporcional al tiempo que requieren las sustancias luminiscentes para el nuevo traspaso hacia el estado de reposo.

Al contrario de los procedimientos electroquímicos, el sensor LDO (Oxígeno Disuelto Luminiscente) no consume oxígeno. Por lo tanto no se requerirán calibraciones o limpiezas periódicas (a medida que el sensor no esté cubierto por una capa de suciedad que consume el oxígeno). Aparte de obtener valores de mediciones más estables y precisas, se ha prolongado además considerablemente la duración de vida del sensor.

El sistema es también independiente del flujo por lo tanto las mediciones pueden ser hechas en aplicaciones con poco o ningún flujo.

### **Conexión del Sensor.**

El cable del sensor tiene un conector rápido para facilitar su conexión al SC 100, (Fig. 2.5). Se debe conservar la cubierta o capuchón del conector para sellar la abertura del conector en caso de que el sensor tenga que ser removido. Los cables de extensión se pueden obtener en longitudes de 7, 15 y 30 mt. (25, 50 y 100 pies). Una caja de empalme tiene que ser instalada cada 31 mt. (100 pies) de cable adicional.



**Fig. 2.5 Conexión del enchufe del Sensor.**

## **Calibración del Sensor.**

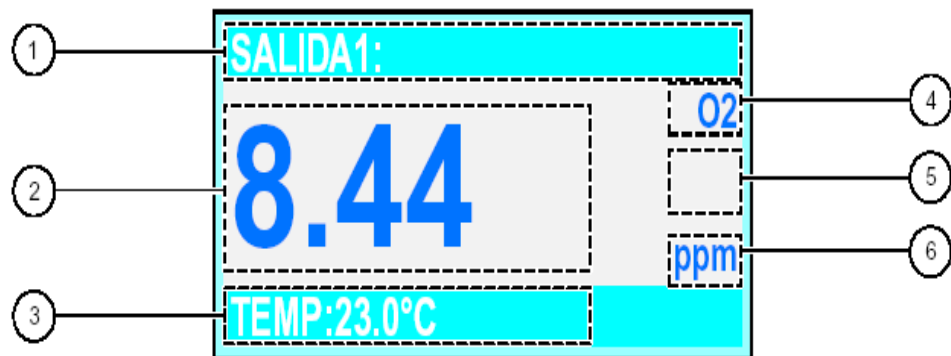
El sensor de oxígeno disuelto ha sido calibrado en fábrica. Debido a la estabilidad y exactitud inherentes a la tecnología del oxígeno disuelto luminiscente de Hach, es raramente necesaria la calibración del sensor. Con varios procedimientos de calibración se puede conseguir una compensación o corrección de la ganancia del instrumento y pueden ser realizados si es requerido por su ente estatal regulador. La calibración en aire es el método más exacto. La calibración por el método de comparación es el menos preciso y por lo tanto no es recomendada.

Para una continua exactitud y repetibilidad, el fabricante recomienda reemplazar el capuchón del sensor después de un año de operación.

## **Características de la Pantalla del Transmisor.**

Cuando un sensor es conectado y el transmisor está en modo de medición, la pantalla del transmisor mostrará la lectura de oxígeno disuelto actual y la temperatura de la muestra.

En el modo arranque, cuando un error del sensor ha ocurrido, cuando ha sido activada la función de mantener constante los valores de salidas del analizador y cuando un sensor esta siendo calibrado, la pantalla del analizador titilará. Un sistema de advertencia activa hará que el icono de advertencia (un triángulo con un signo de exclamación en su interior) sea mostrado al lado derecho de la pantalla. (Fig. 2.6).

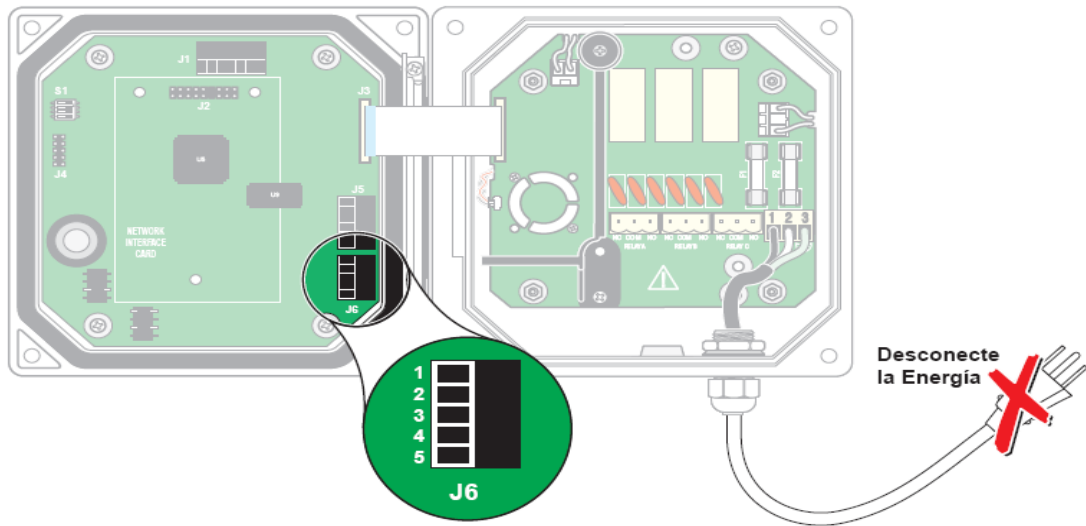


1. Barra de estado. Indica el nombre del sensor y el estado de los relés. La letra de identificación del relé aparece cuando el relé esta energizado.	4. Parámetro a medir
2. Medición principal.	5. Area del icono de advertencia
3. Medición secundaria	6. Unidades de medida

**Fig.2.6 Pantalla del Transmisor.**

### **Conexión de las Salidas Análogas.**

Se proporcionan dos salidas análogas aisladas (Fig. 2.7). Cada salida se puede fijar a 0-20 o 4-20 mA y pueden ser asignadas para que representen la medida de oxígeno disuelto, temperatura o turbiedad. Se deben hacer las conexiones con un cable tipo par trenzado y apantallado y conectar la pantalla al final del componente controlado o al final del lazo de control. No se debe conectar la pantalla a ambos extremos del cable. El uso de un cable no apantallado puede resultar en una emisión de radiofrecuencia o susceptibilidad a niveles mayores que los permitidos. La resistencia máxima del lazo de control son 500 ohmios.



Cables del Registrador	Posición en la Tarjeta del Circuito
Salida 2+	1
Salida 2-	2
Pantalla	3
Salida 1+	4
Salida 1-	5

Fig. 2.7 Conexión de salidas Análogas.

### 2.1.3 SENSORES DE NIVEL.

El nivel es una variable importante para algunas industrias y en otras es indispensable, como por ejemplo: la del papel y la del petróleo, por mencionar algunas. Los instrumentos para la medición de nivel varían en complejidad de acuerdo con la aplicación y su dificultad.

Durante la última década, la evolución tecnológica en el sector electrónico y las comunicaciones, ha propiciado la aparición de nuevos sistemas de medición de nivel para el control y gestión de inventarios en el sector industrial.

### Selección de Medidores de Nivel.

Además de las diferentes variables requeridas para la medición de nivel, tales como masa, volumen, densidad, etc.), existen otra serie de parámetros que deben ser tomadas en cuenta para la selección del medidor adecuado. Las variaciones en las condiciones de proceso así como las condiciones ambientales, han dado lugar a la aparición de múltiples tecnologías para la medición de nivel.

El éxito en la medición de nivel, en la mayoría de los casos reside en la elección de la tecnología más adecuada para la aplicación. Cada tecnología tiene características y prestaciones que deben ser tenidas en cuenta antes de realizar la selección.

Los dos parámetros que tienen mayor influencia en la selección de la tecnología para la medición de nivel son la presión y temperatura, pero existen otros factores a tener en cuenta:

- variable requerida (nivel, masa, densidad, etc).
- precisión en la medida.
- características del tanque.
- condiciones ambientales.
- características del producto.
- requerimientos en instrumentación, incluyendo precisión, certificaciones, alimentación, etc.

### **Sistema HTG: Hydrostatic Tank Gauging.**

Los sistemas HTG están basados en la medida de nivel mediante transmisores de presión hidrostática, siendo éste el sistema más preciso, fiable y reconocido para la medición de nivel en tanques.

### **Medición de Nivel mediante la Presión hidrostática.**

Una columna llena de fluido genera una presión hidrostática específica que depende de la altura y de la densidad de fluido. Un sensor de presión instalado en la base de un depósito mide esta presión con respecto a una presión de referencia (generalmente la atmosférica). Conociendo además la densidad del fluido, se pueden extraer conclusiones sobre el nivel de llenado. La medición hidrostática de niveles puede emplearse



virtualmente con todo tipo de fluidos, y da lugar a medidas muy precisas dependiendo, eso sí, de la precisión del transmisor de presión.

Es utilizado para medición continua de nivel en tanques que contengan líquidos o barros, en la industria química, farmacéutica y alimenticia, como también en tratamiento de agua y aguas residuales.

### **Principio de Operación.**

El peso de una columna de líquido genera una presión hidrostática. A densidad constante, la presión hidrostática es solamente función de la altura de la columna de líquido:

$$P_{hidrostática} = \rho \cdot g \cdot h$$

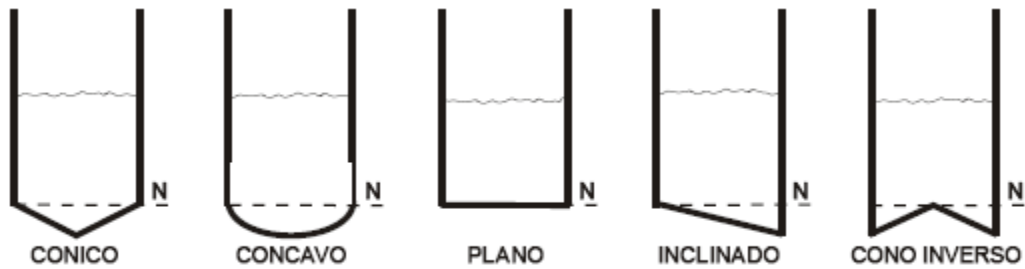
Instalando el transmisor de presión en la base de columna, la presión será sensada por el diafragma. El transmisor genera una señal de salida de 4 a 20 mA. Esta señal ingresada al PLC es monitoreada y controlada para su respectiva lógica de programación.

La señal de presión es directamente proporcional a la masa del producto contenido en el tanque. El volumen depende de las variaciones sufridas por la densidad del producto con la temperatura.

### **Ubicación del Sensor.**

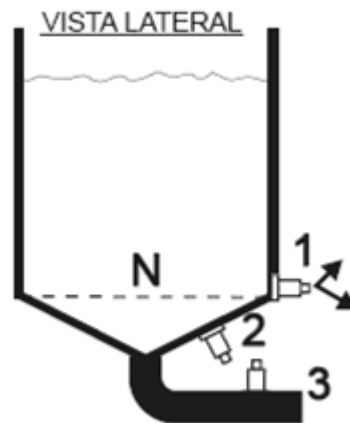
La correcta posición del transmisor, es tal que el punto de referencia de presión atmosférica debe ubicarse por debajo de su línea media horizontal, para evitar obturaciones o ingresos de líquidos que se viertan sobre el instrumento, provocando lecturas erróneas.

El transmisor mide siempre la columna de líquido ubicada por arriba de su instalación. Existe una variedad constructiva de depósitos y fondos de depósitos, Fig. 2.8.



**Fig. 2.8 Variedad constructiva de depósitos.**

En los de posición vertical, en general puede definirse un nivel “N” por sobre el cual las paredes del depósito son paralelas entre sí y la presión se hace proporcional a la altura y luego al volumen contenido en el depósito. Tomando como caso general un fondo cónico, se indican como ejemplo tres ubicaciones del transmisor, Fig.2.9.



**Fig. 2.9 Ubicaciones del Transmisor.**

En la posición **1** el transmisor de presión se ubica donde las paredes comienzan a ser paralelas y la indicación corresponderá al volumen de la columna por sobre el transmisor

El volumen del cono no puede medirse pero en general es despreciable frente al total. De no ser despreciable o tener ubicado el transmisor en las posiciones **2** y **3** la lectura de volumen será incorrecta hasta que el fluido alcance el nivel “N” debido a que el volumen no es directamente proporcional a la altura.

Debe considerarse que al montar el transmisor en tuberías de maniobra del fluido, se provocarán lecturas erróneas de volumen originadas por variaciones dinámicas de la presión hidrostática.

## 2.2 CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE PLC.

Los controladores lógicos programables son computadores digitales industriales dedicados a las tareas de control de procesos. Dichos dispositivos fueron creados para mejorar el sistema de control convencional mediante contactores. Entre los problemas que presentaban los sistemas de control convencional están: poca flexibilidad, difícil supervisión y corrección de errores, poca confiabilidad y alto consumo de energía. Las razones de estos problemas radican en que los sistemas convencionales implementan la lógica de control mediante cableados complicados y múltiples elementos discretos como temporizadores, contactores, interruptores, enclaves mecánicos y botoneras, todos los cuales están sujetos a fallo. Además, el hecho de que la lógica esté implementada por cableados hace difícil su modificación.

Como respuesta, surgió la idea de tener un único elemento programable que realizara la lógica de control. Entonces, bastará con programar dicha lógica en la memoria del dispositivo para obtener el mismo resultado que con la intrincada red de contactores que se tenía previamente.

El dispositivo fue llamado controlador lógico programable PLC, nombre que resalta su característica más importante: el hecho de que es programable. Esta cualidad permite que el equipo pueda ser utilizado en una gran diversidad de procesos, ofreciendo a la industria flexibilidad y adaptabilidad a los cambios.

### 2.2.1 Componentes básicos de los PLC.

**1.- Unidad central de proceso:** ó CPU por sus siglas en inglés (Central Processing Unit). Es el elemento principal de procesamiento del PLC. Una vez digitalizadas, las señales de entrada son pasadas al CPU, el cual les aplica el *algoritmo de control* para generar las salidas. El *algoritmo de control* está almacenado en la memoria interna del PLC en forma de un *programa*, el cual es creado y almacenado por el usuario. Además de ejecutar el *programa*, el CPU realiza acciones como verificación del sistema, actualización de las imágenes de entrada y salida y la medición del tiempo de ejecución del *programa*.

**2.- Memoria del PLC:** Es el lugar físico donde residen el sistema operativo, el *programa*, los datos de ejecución y las imágenes de entrada y salida. El sistema

operativo es un programa que utiliza el PLC para iniciar su operación y realizar las configuraciones propias de su funcionamiento.

La memoria del PLC se clasifica en diferentes clases dependiendo de su modo de acceso y volatilidad.

- a) **EEPROM:** Es una memoria de sólo lectura que puede ser escrita por medios electrónicos. No necesita de una fuente de poder para mantener sus datos. Por su característica no volátil, se utiliza para guardar datos esenciales, tal como el sistema operativo y el *programa*.
- b) **RAM:** Es una memoria reescribible de acceso aleatorio que se utiliza para guardar los datos generados mientras se ejecuta el programa. Es volátil, por lo que los datos almacenados se pierden si se le suspende la alimentación.

**3.- Entradas:** Constituyen la etapa de entrada del PLC. Desde la parte externa del PLC lucen como una bornera donde se deben colocar los cables con las señales que provienen de los transductores, pero internamente están conformadas por circuitos electrónicos que acoplan esas señales a las especificaciones de señales que el PLC puede manipular.

Según la naturaleza de la señal que se recibe de los transductores, las entradas se clasifican en:

- a) **Entradas digitales:** Estas entradas se diseñan para recibir señales cuantizadas de los sensores de campo. Dichas señales varían sólo entre dos estados. El PLC codifica estas señales según su amplitud en: 1 lógico para el valor de amplitud mayor, y 0 lógico para el nivel de amplitud menor. Los niveles de amplitud que el PLC entenderá son definidos por el fabricante. Este tipo de señales generalmente provienen de transductores como: interruptores, botoneras, sensores de fin de carrera, etc.
- b) **Entradas analógicas:** Son las que reciben señales analógicas de los transductores de campo. Estas señales generalmente provienen de sensores que miden el valor instantáneo de una variable física. Ejemplos de este tipo de señales son: la salida de un tacómetro, de un fotosensor o de un sensor de nivel. El valor de la señal

analógica se transforma en una señal digital de tal forma que el procesador la pueda manipular. Un aspecto importante de esta transformación es la resolución con que se realiza en el interior del PLC. Por resolución se entenderá la cantidad de valores cuantizados disponibles para representar una señal analógica.

Por ejemplo, si se tiene sólo dos valores cuantizados para representar una señal que varía de 0 a 5 V, se dice que se tiene una resolución de dos. La resolución depende de las características de la entrada. La cantidad de valores cuantizados es igual a  $2^n$ , con **n** el número de bits del registro donde se almacena la variable digital que resulta de la transformación. Generalmente, en los controladores más sofisticados, se asocia un registro de 16 bits a cada una de las entradas analógicas, con lo que se tiene una resolución de 65536.

Según el tipo de señal eléctrica que reciban, las entradas también se clasifican en: de corriente y de voltaje. A las entradas está asignado un espacio de memoria del PLC llamado *imagen de entradas*, el cual contiene la información de todas las entradas en todo momento.

**4.- Salidas:** Internamente son circuitos electrónicos que realizan el acople entre las señales digitales utilizadas por el PLC y las señales analógicas o cuantizadas que utilizan los actuadores. Externamente lucen como una bornera donde se realizan las conexiones entre el PLC y los actuadores.

Las salidas se clasifican, al igual que en el caso de las entradas, en digitales y analógicas. Las salidas digitales se aplican a actuadores como bobinas de contactores, electroválvulas, etc.

Existen salidas digitales: de voltaje y de relé. Las salidas de voltaje asignan una magnitud de voltaje, que depende del fabricante, al estado 1 lógico y de 0 V al estado 0 lógico. Las salidas de relé consisten en un contacto seco que se cierra en el estado 1 y se abre en el estado 0.

En el caso de salidas analógicas, los valores de salida están generalmente entre 0 Vdc a 10 Vdc para las salidas de voltaje y de 4 mA a 20 mA para las de corriente, aunque estos valores varían según el fabricante. Estas señales comandan actuadores como válvulas solenoides, servomotores, etc.

A las salidas se les asigna un espacio de memoria del PLC llamado *imagen de salida*, el cual contiene la información de todas las salidas en todo momento.

**5.- Fuente de poder:** Es el elemento que brinda la alimentación a todos los componentes del PLC. Generalmente los componentes funcionan a bajos voltajes de *dc*. La fuente realiza la transformación de los voltajes *ac* de las líneas de potencia a esos niveles *dc*.

### 2.2.2 Tipos de PLC.

Los PLC se clasifican, según la forma como se presentan sus componentes en compactos y modulares:

**Compactos:** Todos los componentes se encuentran integrados en un solo gabinete. El usuario no tiene acceso a ellos, por lo que no los puede modificar. Generalmente se pueden encontrar con diferentes capacidades en aspectos como: número de entradas, capacidad de memoria, número de salidas, opciones de comunicación, etc.

**Modulares:** Consisten en un bastidor o chasis donde se introducen los diferentes componentes o módulos. Los módulos son intercambiables de un bastidor a otro por lo que las capacidades de un PLC pueden ser ampliadas fácilmente. Generalmente son más costosos que los tipo compacto, pero son mucho más versátiles y útiles en aplicaciones que exigen adaptabilidad a cambios.

### 2.2.3 Programación de un PLC.

Para que el PLC pueda relacionar lógicamente las entradas con las salidas, necesita seguir un *programa* en su memoria. El *programa* tiene descrito, en forma de instrucciones, el *algoritmo de control* deseado.

El *programa* consiste en un archivo o archivos que son generados por la *aplicación de programación*. Estas *aplicaciones de programación* son ejecutadas en dispositivos especiales como herramientas portátiles o computadores personales. Una vez generado el archivo de *programa*, éste se debe descargar a la memoria del PLC.

Las *aplicaciones de programación* brindan una serie de herramientas al usuario para que pueda completar la creación de un *programa*. Entre las herramientas que se suelen

ofrecer están: configuración de los componentes del PLC que se utilizará, opciones de comunicación, diferentes editores de programa, un compilador y plataformas de simulación y de monitoreo.

La plataforma de simulación sirve para corroborar el funcionamiento del *programa*, facilitando la puesta en marcha en el campo. La plataforma de monitoreo ayuda al operario a verificar el correcto funcionamiento del sistema desde un equipo remoto como un PC.

Las instrucciones que contiene el *programa* son ejecutadas secuencialmente de forma repetitiva por el CPU.

La mayoría de los fabricantes ofrecen tres editores de *programa*: lista de instrucciones, escalera y diagrama de flujo.

**Lista de instrucciones:** consiste es una programación por texto, en la cual se le indica al CPU la operación a realizar mediante un comando. Los comandos que se pueden utilizar están predeterminados por el fabricante.

**Escalera:** Es un lenguaje gráfico que se parece mucho a los diagramas en escalera que se acostumbran en el control convencional. Su lógica incluye los conceptos de contactos normalmente abiertos, cerrados, salidas hacia bobinas, etc.

**Diagrama de función:** es un lenguaje gráfico por bloques, en el que se dispone de una serie de bloques que realizan funciones específicas. La lógica del *programa* se logra al interconectar los bloques.

#### **2.2.4 Tiempo de ciclo de programa.**

El controlador requiere un tiempo para procesar el *programa*. Dicho tiempo se conoce como **tiempo de ciclo de programa**, y depende de la cantidad, tipo de instrucciones del *programa* y de la velocidad del CPU del PLC.

### 2.2.5 Características y Arquitectura.

La serie Micrologix Allen Bradley es una familia de PLC modulares que ofrecen una gran cantidad de opciones en módulos de entradas y salidas, comunicación y memoria. Además ofrecen diferentes tipos de CPU según las características de la aplicación.

### 2.2.6 Sistema Micrologix 1500

El MicroLogix 1500 (Fig. 2.10) es una plataforma de controlador compacto completamente nueva con funciones y rendimiento de categoría mundial. Muchas de estas nuevas características permiten que este controlador compacto pueda usarse en aplicaciones donde anteriormente se requerían controladores mucho más grandes. El controlador MicroLogix 1500 tiene un innovador diseño de dos piezas y medidas pequeñas. El procesador y la base se deslizan juntos para formar la unidad de controlador completa. El procesador se reemplaza independientemente de la base, lo cual permite maximizar las opciones de E/S incorporadas y minimizar los costos de inventario. Una unidad de procesador que se reemplaza independientemente también significa que las sustituciones se pueden realizar sin tocar las conexiones de los cables.



**Fig. 2.10 PLC Micrologix 1500.**

El MicroLogix 1500 usa el sistema Compact™ I/O, un diseño modular y sin rack, de alto rendimiento que proporciona acceso frontal, desinstalación e inserción para un bajo costo del sistema y menor inventario de piezas. Y el sistema MicroLogix 1500 también utiliza el software de programación RSLogix 500™ de Rockwell Software y cuenta con un conjunto de instrucciones común para las familias de controladores MicroLogix 1000, MicroLogix 1200 y SLC. Un sistema operativo facilita la actualización de los



sistemas operativos sin tener que reemplazar el hardware. La portabilidad de programas permite cargar, descargar y transportar los programas del usuario mediante módulos de memoria. Las capacidades de reloj en tiempo real (RTC) permiten las tareas de control basados en fecha/hora.

## **2.3 MODULO DE COMUNICACIONES ETHERNET ENI (*ETHERNET NETWORK INTERFACE*).**

### **2.3.1 Función.**

El módulo 1761-NET-ENI (Fig. 2.11) proporciona conectividad mediante el protocolo de comunicación Ethernet/IP (*Ethernet Industrial Protocol*) a dispositivos con puerto RS-232 que usen el protocolo de comunicación DF1 full-duplex, para el caso que nos compete el autómatas MicroLogix 1500. Este módulo permite conectar los autómatas programables a una red Ethernet, cargar y descargar programas, intercambiar información entre dispositivos y editar programas lógicos entre otras opciones.



**Figura 2.11: Aspecto exterior del módulo ENI.**

La función del módulo es la de recibir un mensaje del autómatas (en formato DF1/PCCC) por el puerto RS-232 y encapsularla poniéndole un envoltorio CIP, este nuevo mensaje se envía a través del puerto Ethernet hacia su destino. El procedimiento es el inverso para un mensaje recibido desde Ethernet, la función será desencapsularlo revelando el mensaje original en formato DF1/PCCC y enviarlo por el puerto RS-232 hacia el autómatas (Fig. 2.12).

Con PCCC (*Programmable Controller Communications Commands*) se entiende los comandos de comunicación de un controlador programable. Para que este formato se pueda enviar a través de la red LAN, Rockwell ha desarrollado el CIP (*Control and Information Protocol*).

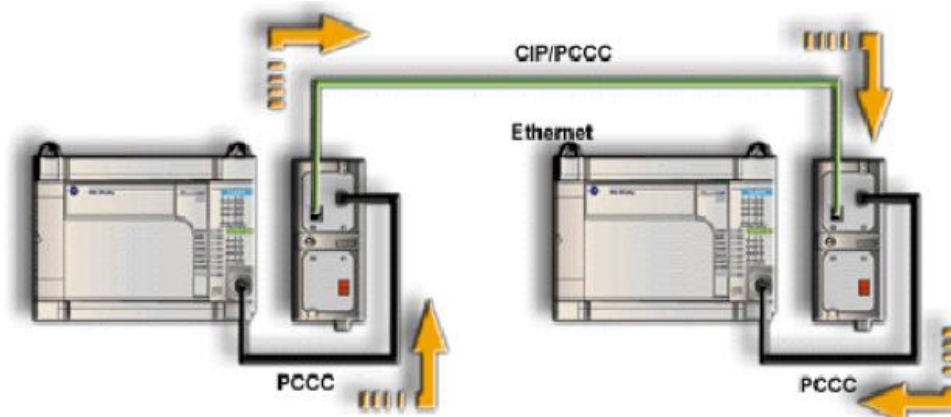


Fig. 2.12 Encapsulamiento de los Mensajes.

### 2.3.2 Protocolos de Comunicación Utilizados.

Ethernet es una LAN que transmite información a velocidades de 10 o 100 millones de bits por segundo (Mbps). En 1985 se estandarizó con el nombre de: "IEEE 802.3 *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications*" o más escuetamente "IEEE 802.3 CSMA/CD", lo que significa:

*Carrier Sense*: cada nodo escucha continuamente el tráfico existente en el medio para determinar cuando aparece un hueco en el que no exista información.

*Multiple Access*: el nodo empieza a transmitir cuando se detecta que no existe tráfico.

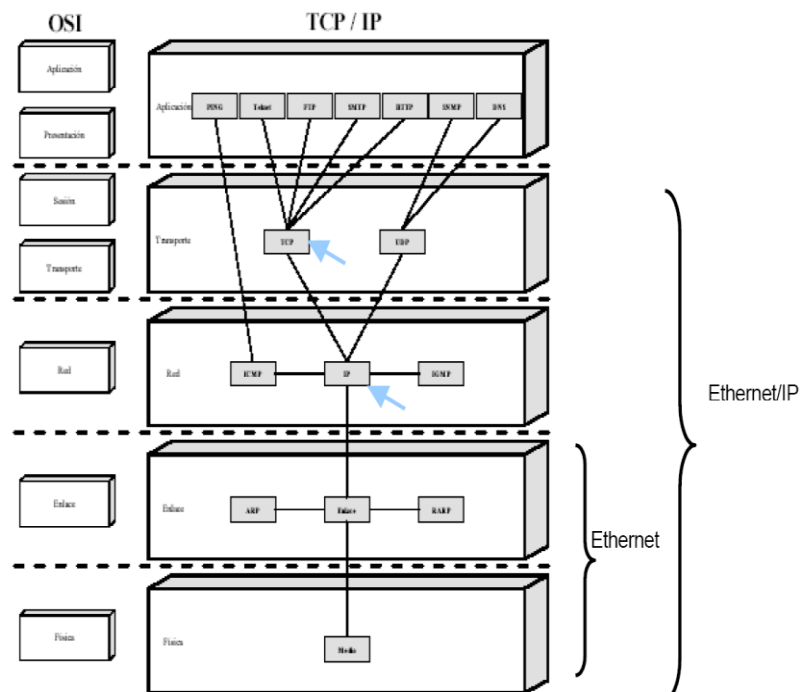
*Collision Detection*: Si dos o más nodos en un dominio de colisión empiezan a transmitir al mismo tiempo, las cadenas de bits colisionarán y las dos conexiones se invalidarán. Los nodos deben ser capaces de detectar la colisión antes de acabar de enviar su información y detener la transmisión. Entonces esperan un tiempo aleatorio antes de volver a probar la transmisión. Y así sucesivamente.

Este funcionamiento hace que el protocolo no sea determinista, es decir, que no se pueda asegurar el envío de la información aunque la posibilidad de que no se envíe es

ínfima. De todas maneras existen vías para garantizar ese determinismo y poder utilizar el protocolo en ambientes industriales. Una de ellas sería el uso de un *switch* de Ethernet para cada nodo más la utilización del protocolo *full-duplex*. El nodo únicamente se comunica con el *switch* y existen dos sentidos de comunicación debido al *full-duplex*, por lo que no hay manera de colisionar, aunque es una medida con un precio elevado. Un *switch* es un dispositivo de interconexión entre estaciones de una misma red.

En una red Ethernet cada nodo conectado al sistema funciona independientemente de los demás, es decir, no existe un controlador central y todos los elementos del sistema se conectan a un elemento compartido (el medio físico), por donde se transporta la señal. En este caso el medio físico consiste en un cable de par trenzado.

Ethernet ocuparía las dos primeras capas del modelo de referencia ISO-OSI (Fig. 2.13). Éste modelo se creó a partir de la necesidad de crear un estándar para las comunicaciones asegurando la conectividad a todos los niveles (físico, datos, aplicaciones...).



**Fig. 2.13** Correspondencia capas OSI.

Para comunicar un nodo de una LAN con un nodo de otra LAN se tiene que usar un protocolo de comunicaciones entre LANs, el *Internet Protocol* (IP). IP es un protocolo *connectionless* y no asegura la entrega correcta del mensaje en el destino, esa seguridad deben proporcionarla protocolos de capas superiores. El protocolo más utilizado en este caso es el TCP (*Transport Control Protocol*). Este conjunto de protocolos forman el llamado Ethernet/IP (*Ethernet Industrial Protocol*) (Fig. 2.13)

## **2.4 VARIADOR DE FRECUENCIA.**

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del [inglés](#): *Variable Frequency Drive* o bien AFD *Adjustable Frequency Drive*) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un [motor de corriente alterna](#) (AC) por medio del control de la [frecuencia](#) de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un [variador de velocidad](#). Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, microdrivers o inversores. Desde que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia).

La maquinaria industrial generalmente es accionada a través de motores eléctricos, a velocidades constantes o variables, pero con valores precisos. No obstante, los motores eléctricos generalmente operan a velocidad constante o cuasi-constante, y con valores que dependen de la alimentación y de las características propias del motor, los cuales no se pueden modificar fácilmente. Para lograr regular la velocidad de los motores, se emplea un [controlador](#) especial que recibe el nombre de variador. Los variadores se emplean en una amplia gama de aplicaciones [industriales](#), como en [ventiladores](#) y equipo de [aire acondicionado](#), equipo de bombeo, bandas y transportadores industriales, elevadores, llenadoras, [tornos](#) y [fresadoras](#), etc.

### **2.4.1 Principio de funcionamiento.**

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de [corriente alterna](#) (CA) esta determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el [estator](#), de acuerdo con la relación:

$$RPM = \frac{120 \times f}{p} \quad [2.1]$$

Donde  $RPM$  = Revoluciones por minuto

$f$  = frecuencia de suministro AC ([hertz](#))

$p$  = Número de polos (adimensional)

**Motores síncronos**.- operan a velocidad síncrona determinada por la anterior ecuación. La velocidad de un motor de inducción es un poco menor que la velocidad síncrona.

### **Ejemplo:**

Un motor de 4 polos que esta conectado directamente a la red de distribución eléctrica de 60 Hertz debería tener una velocidad síncrona de 1800 rpm:

La ecuación [2.1] se utiliza en este ejemplo:

$$\frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{ RPM} \quad [2.2]$$

Si el motor es un [motor de inducción](#), la velocidad de operación a plena carga estará sobre los 1750 RPM.

Si el motor está conectado al variador de velocidad que le proporciona 40 Hertz, la velocidad síncrona será de 1200 RPM:

$$\frac{120 \times 40}{4} = 1200 \text{ RPM} \quad [2.3]$$

### **Motor de un Variador de frecuencia.**

El motor usado en un sistema de variación de frecuencia es normalmente un motor de inducción [trifásico](#). Algunos tipos de motores [monofásicos](#) pueden ser igualmente usados, pero los motores de tres fases son normalmente preferidos. Varios tipos de motores síncronos ofrecen ventajas en algunas situaciones, pero los motores de inducción son más apropiados para la mayoría de propósitos y son generalmente la

elección más económica. Motores diseñados para trabajar a velocidad fija son usados habitualmente, pero la mejora de los diseños de motores [estándar](#) aumenta la fiabilidad y consigue mejor rendimiento del Variador de Frecuencia.

### **Controlador del Variador de Frecuencia.**

El [controlador de dispositivo](#) de variación de frecuencia esta formado por dispositivos de conversión electrónicos de [estado sólido](#). El diseño habitual primero convierte la energía de entrada AC en DC usando un [puente rectificador](#). La energía intermedia DC es convertida en una señal [quasi-senoidal](#) de AC usando un circuito inversor conmutado. El rectificador es usualmente un puente trifásico de [diodos](#), pero también se usan [rectificadores controlados](#). Debido a que la energía es convertida en continua, muchas unidades aceptan entradas tanto monofásicas como trifásicas (actuando como un *convertidor de fase*, un [variador de velocidad](#)).

Tan pronto como aparecieron los interruptores [semiconductores](#) fueron introducidos en los Variadores de Frecuencia, ellos han sido aplicados para los inversores de todas las tensiones que hay disponible. Actualmente, los transistores bipolares de puerta aislada ([IGBTs](#)) son usados en la mayoría de circuitos inversores.

Las características del motor AC requieren la variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada. Por ejemplo, si un motor esta diseñado para trabajar a 460 voltios a 60 Hz, el voltaje aplicado debe reducirse a 230 volts cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz. Así la relación voltios/hertzios deben ser regulados en un valor constante ( $460/60 = 7.67$  V/Hz en este caso). Para un funcionamiento óptimo, otros ajustes de voltaje son necesarios, pero nominalmente la constante es V/Hz es la regla general. El método más novedoso y extendido en nuevas aplicaciones es el control de voltaje por [PWM](#). (Fig. 2.14)

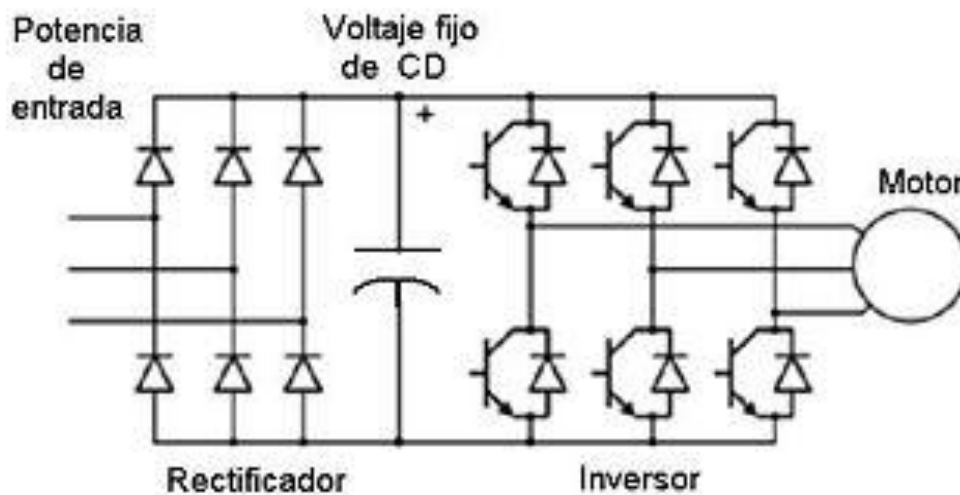
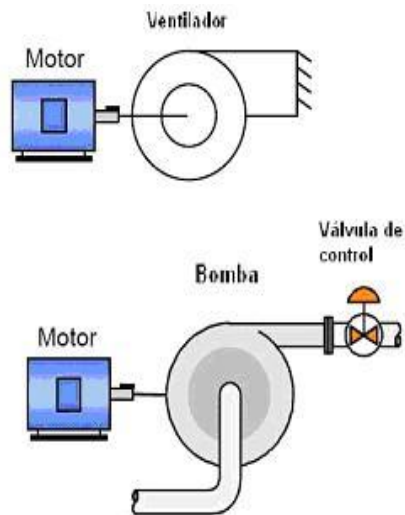


Fig. 2.14 Diagrama de Variador de frecuencia con Modulación de Ancho de Pulso ([PWM](#)).

### Motivos para emplear variadores.

El control de procesos y el ahorro de la energía son las dos de las principales razones para el empleo de variadores. Históricamente, los variadores fueron desarrollados originalmente para el [control de procesos](#), pero el [ahorro energético](#) ha surgido como un objetivo tan importante como el primero.

Algunas aplicaciones de los variadores en bombas y ventiladores. (Fig.2.15)



**Fig.2.15 Aplicaciones.**

### **Frecuencia como una forma de controlar un proceso.**

Entre las diversas ventajas en el control del proceso proporcionadas por el empleo de variadores de frecuencia destacan:

- Operaciones más suaves.
- Control de la aceleración.
- Permitir operaciones lentas para fines de ajuste o prueba.
- Control de Bombas Dosificadoras.
- Permitir el posicionamiento de alta precisión.
- Control del [Par motor](#) ([torque](#)).

#### **2.4.2 Características del Variador de Frecuencia CA Serie 160 SSC.**

##### **1.- Excelente Flexibilidad de Control.**

La simplicidad, la flexibilidad y la facilidad de uso son la base del diseño del variador 160 (Fig. 2.16).





**Fig. 2.16 Variador de Frecuencia CA Serie 160 SSC.**

Se logran estas tres características a través de dos modelos de control: Modelo seguidor de señal analógica y Modelo de velocidad preseleccionada. Cada modelo de control posee un bloque de terminales programable que proporciona la flexibilidad para cubrir una gran variedad de aplicaciones sin usar lógica de control externo.

#### 1.1 Modelo Seguidor de Señal Analógica.

La referencia de velocidad se puede controlar a través de una señal analógica de  $\pm 10$  V, 0-10 V o 4-20 mA o de un potenciómetro remoto. Se pueden obtener los siguientes métodos de control programando el bloque de terminales de control:

- Control de velocidad preseleccionada: se pueden alcanzar cuatro velocidades preseleccionadas para las aplicaciones que disponen sólo de entradas digitales.
- Control analógico con una preselección: la frecuencia de comando se puede cambiar de analógica a una velocidad preseleccionada a través de una entrada digital, lo que brinda flexibilidad de aplicación.

#### 1.2. Modelo de Velocidad Preseleccionada.

Para las aplicaciones donde se requieran más de cuatro preselecciones o se necesite flexibilidad de control adicional, el Modelo de velocidad preseleccionada puede ser la respuesta.

Este modelo se controla a través de tres entradas digitales que proporcionan ocho velocidades preseleccionadas independientes y dos tiempos de rampa de aceleración y deceleración dependientes de la velocidad.

## 2.- Rendimiento en la aceleración.

La excelente regulación de corriente permite aceleraciones más rápidas que dan como resultado más ciclos por hora. Un par y una corriente controlados y uniformes reducen las vibraciones mecánicas no deseadas. Esto ayuda a prolongar la vida útil del equipo y del motor. La función de limitación de corriente híbrida utiliza control de firmware y hardware para minimizar la posibilidad de disparos no deseados durante aceleraciones rápidas, operación a velocidad constante y deceleración. (Fig. 2.17).

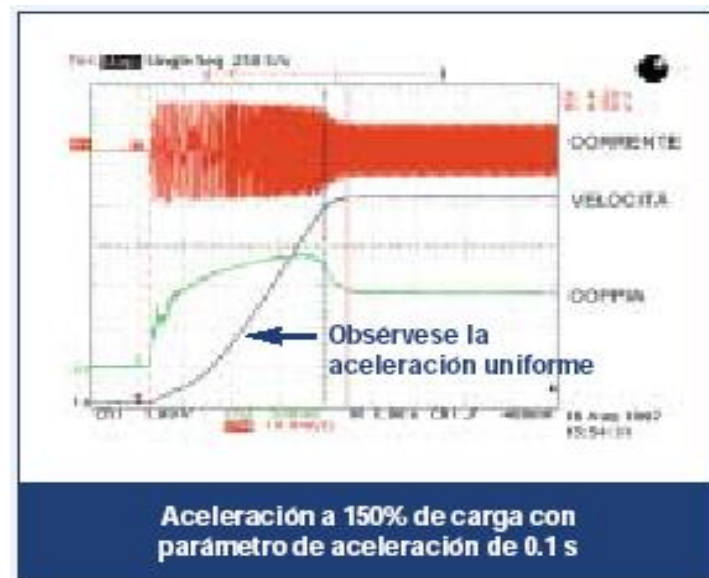


Fig. 2.17 Rendimiento en la aceleración.

## 3.- Rendimiento de par/velocidad.

La función de Refuerzo automático (Compensación IR) ajusta automáticamente la tensión de salida para mejorar el rendimiento de par a bajas velocidades. El mayor rendimiento de par se mantiene en toda la gama de velocidades. La función de Compensación de deslizamiento ayuda a mejorar la regulación de la velocidad en general. Esto permite que el variador ayude a mantener la frecuencia de salida deseada que se consignó aun cuando aumente la carga. (Fig. 2.18).

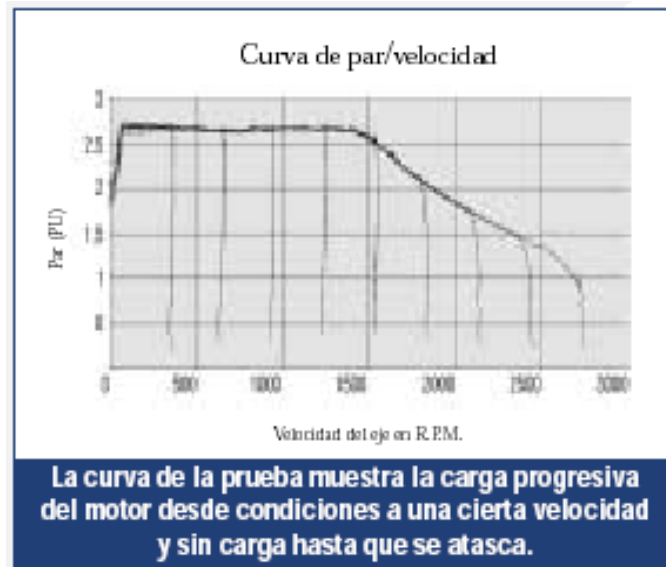


Fig. 2.18 Rendimiento de par/velocidad.

#### 4.- Respuesta a cambios de carga.

Las funciones de Compensación de deslizamiento y Limitación de corriente híbrida permiten al variador mantener el control de la corriente y la velocidad.

Esto ayuda a evitar disparos no deseados y mejora la eficiencia del proceso. Incluso con cargas de impacto que requieran 150% de par, el Variador de Velocidad 160 mantiene un control estricto de la corriente y la velocidad. (Fig. 2.19).

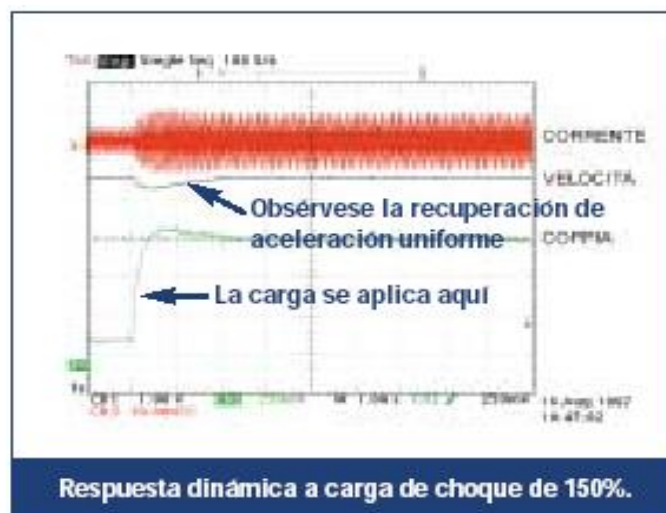


Fig. 2.19 Respuesta a cambios de carga.

## 5.- Reducción del uso de energía y de los costos operativos.

La reducción de la velocidad de la carga de una bomba o ventilador centrífugos reduce drásticamente el consumo de energía eléctrica. Ambos modelos de variadores le ofrecen el control de velocidad para lograr este objetivo. Además, la gran reducción en la corriente de arranque puede ahorrar costos de demanda de utilidades. (Fig. 2.20).

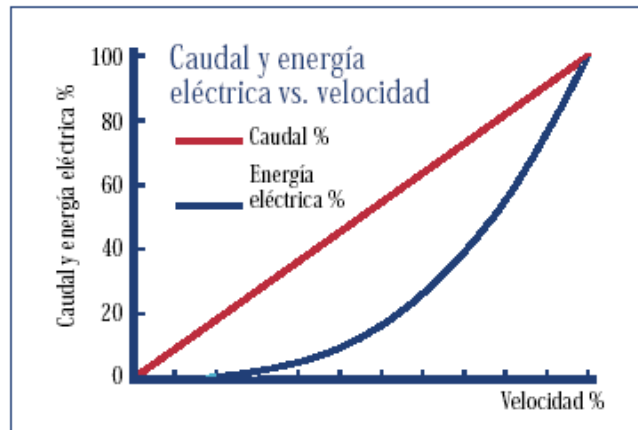


Fig. 2.20 Reducción del uso de energía y de los costos operativos.

## 6.- Prolongación de la vida útil del equipo y del motor.

Los tiempos de aceleración y deceleración ajustables proporcionan un arranque y paro suaves inherentes. Esta característica mejora más aún con el ajuste de la curva tipo S programable del variador. Esto implica una gran reducción de las corrientes de arranque y la eliminación de pares de Arranque directo arranque excesivos. (Fig. 2.21).

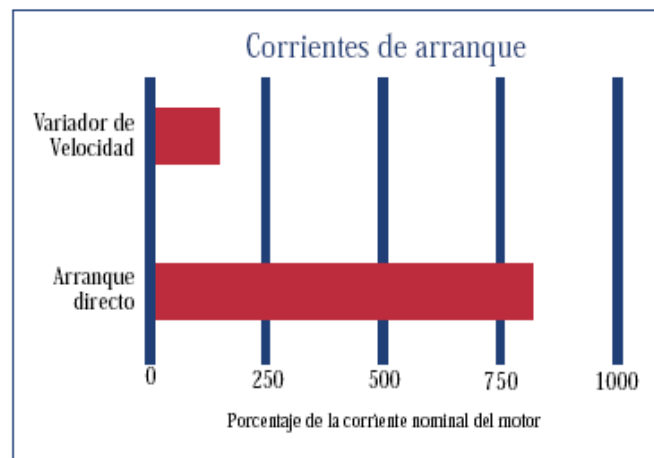


Fig. 2.21 Prolongación de la vida útil del equipo y del motor.

## 2.5 ELECTROVALVULAS.

Una electroválvula es un dispositivo diseñado para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. Una electroválvula solamente tiene dos estados, abierto y cerrado, y no sirve para modular el flujo. (Fig. 2.22). No se debe confundir la electroválvula con válvulas motorizadas, que son aquellas en las que un motor acciona el cuerpo de la válvula. Las válvulas motorizadas pueden permitir la modulación del flujo, cosa imposible con una electroválvula. Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El [solenoide](#) convierte [energía eléctrica](#) en [energía mecánica](#) para actuar la válvula.



Fig.2.22 Electroválvula.

### 2.5.1 Clases.

Existen varios tipos de electroválvulas. En algunas electroválvulas el solenoide actúa directamente sobre la válvula proporcionando toda la energía necesaria para su movimiento. Es corriente que la válvula se mantenga cerrada por la acción de un [muelle](#) y que el solenoide la abra venciendo la fuerza del [muelle](#). Esto quiere decir que el solenoide debe estar activado y consumiendo [potencia](#) mientras la válvula deba estar abierta.

También es posible construir electroválvulas biestables que usan un solenoide para abrir la válvula y otro para cerrar o bien un solo solenoide que abre con un impulso y cierra con el siguiente.

Las electroválvulas pueden ser *cerradas en reposo* o *normalmente cerradas* lo cual quiere decir que cuando falla la alimentación eléctrica quedan cerradas o bien pueden

ser del tipo *abiertas en reposo* o *normalmente abiertas* que quedan abiertas cuando no hay alimentación.

Hay electroválvulas que en lugar de abrir y cerrar lo que hacen es conmutar la entrada entre dos salidas. Este tipo de electroválvulas a menudo se usan en los sistemas de calefacción por zonas lo que permite calentar varias zonas de forma independiente utilizando una sola bomba de circulación.

### **2.5.2 Funcionamiento.**

El gráfico de la Fig. 2.23 muestra el funcionamiento de este tipo de válvula. En la parte superior vemos la válvula cerrada. El agua bajo presión entra por **A**. **B** es un [diafragma](#) elástico y tiene encima un muelle que le empuja hacia abajo con fuerza débil. La función de este muelle no interesa por ahora ya que la válvula no depende de él para mantenerse cerrada. El diafragma tiene un diminuto orificio en el centro que permite el paso de un pequeño flujo de agua. Esto hace que el agua llene la cavidad **C** y que la [presión](#) sea igual en ambos lados del diafragma. Mientras que la presión es igual a ambos lados, vemos que actúa en más superficie por el lado de arriba que por el de abajo por lo que presiona hacia abajo sellando la entrada. Cuanto mayor sea la presión de entrada, mayor será la fuerza con que cierra la válvula.

El conducto **D** hasta ahora estaba bloqueado por el núcleo del solenoide **E** al que un muelle empuja hacia abajo. Si se activa el solenoide, el núcleo sube y permite pasar el agua desde la cavidad **C** hacia la salida con lo cual disminuye la presión en **C** y el diafragma se levanta permitiendo el paso directo de agua desde la entrada **A** a la salida **F** de la válvula. Esta es la situación representada en la parte inferior de la figura 2.23.

Si se vuelve a desactivar el solenoide se vuelve a bloquear el conducto **D** y el muelle situado sobre el diafragma necesita muy poca [fuerza](#) para que vuelva a bajar ya que la fuerza principal la hace el propio fluido en la cavidad **C**.

De esta explicación se deduce que este tipo de válvula depende para su funcionamiento de que haya mayor presión a la entrada que a la salida y que si se invierte esta situación entonces la válvula abre sin que el solenoide pueda controlarla. Este tipo de válvulas se utilizan muy comúnmente en lavadoras, lavaplatos, riegos y otros usos similares.

Un caso especialmente interesante del uso de estas válvulas es en los calentadores de agua de depósito. En los calentadores de agua de demanda, el agua se calienta según va pasando por el calentador en el momento del consumo y es la propia presión del agua la que abre la válvula del [gas](#) pero en los calentadores de depósito esto no es posible ya que el agua se calienta mientras está almacenada en un depósito y no hay circulación. Para evitar la necesidad de suministrar energía eléctrica la válvula del gas es una válvula de este tipo con la válvula piloto controlada por un diminuto solenoide al que suministra energía un [termopar](#) bimetálico que saca energía del [calor](#) del agua. Las electroválvulas también se usan mucho en la industria para controlar el flujo de todo tipo de fluidos.

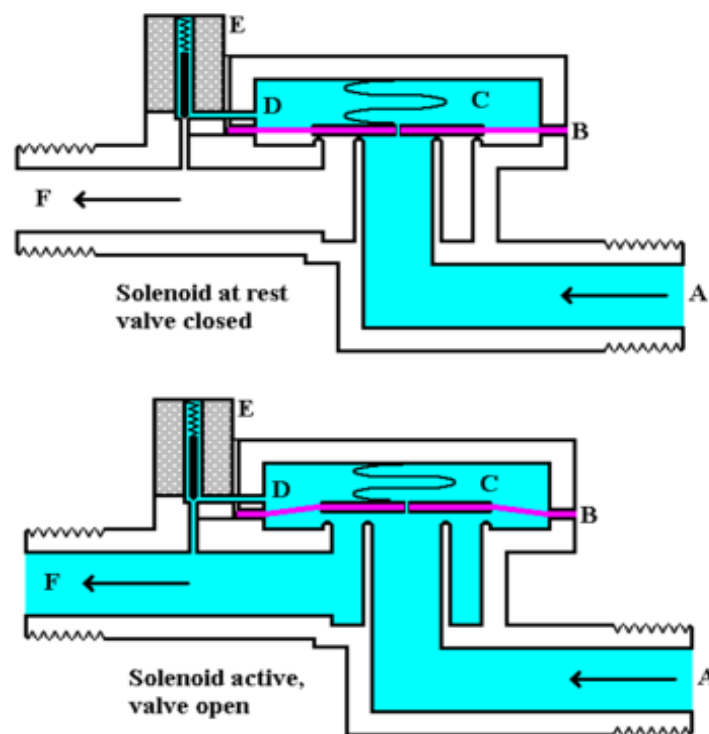


Fig. 2.23 Funcionamiento.

### Partes de la Electroválvula.

- A- Entrada.
- B- Diafragma.
- C- Cámara de presión.
- D- Conducto de vaciado de presión.
- E- Solenoide.
- F- Salida.

## **CAPITULO III**

### **DISEÑO DEL SOFTWARE**

#### **3.1 PROGRAMACION DEL PLC.**

Para este proyecto se utilizo un controlador lógico programable marca Allen Bradley modelo Micrologix 1500 serie A y su programación esta desarrollada bajo el software RSlogix 500, la logica programada realiza el control del proceso de la dosificación en la planta de tratamiento de agua potable.

La integración de este PLC a una red Ethernet fue la gran ventaja para la comunicación con el computador y el sistema SCADA.

##### **3.1.1 Lógica de Control.**

La lógica de control permite la operación del sistema en dos tipos de operación: manual y automático.

##### **1. Operación Manual.**

El mando de operación manual se realiza desde el tablero de control en el sitio, ubicado en el cuarto de químicos de la planta de tratamiento.

La orden de operación manual la dá el selector físico de manual/automático que se encuentra en el tablero, en este tipo de operación, el sistema funciona dependiendo exclusivamente del operador. Esto quiere decir, que si alguna de las bombas dosificadoras, motores que se utilizan para mezclar el agua con el polímero o las



electroválvulas entran en funcionamiento, es indispensable que el operador presione el pulsador de color verde para encender y si desea apagar presione el pulsador de color rojo.

## **2. Operación Automática.**

El mando de operación automática la da el selector físico. El momento que el selector manual/automático se activa, se deshabilita las opciones de manual, y la lógica de control ejecuta las secuencias necesarias para la operación automática.

En esta operación, se controla los niveles de llenado de los tanques, la turbiedad y se supervisa el caudal que ingresa para realizar el control de las bombas dosificadoras a través de los variadores de frecuencia.

La turbiedad es regulada a través de un control, el cual permite el comando de una bomba dosificadora y este flujo continuo es inyectado al canal de la planta de tratamiento para seguir el proceso.

El algoritmo para el control de nivel de los tanques se fundamenta a través de los sensores de presión hidrostática y con estos el llenado automatizado de los tanques.

Los valores de la cantidad de polímero y turbiedad se graficaron en Excel para obtener una línea de tendencia aproximada. Esto permitirá tener valores de la turbiedad y la cantidad de polímero que se esta utilizando a medida de que aumenta o disminuye la turbiedad, cumpliendo el objetivo de mejorar el proceso de dosificación que se le da al agua cruda para mejorar la calidad de agua al final del proceso de la planta de tratamiento de agua potable.

### **3.1.2 Variables de Control.**

En la tabla 3.1 se encuentra la distribución de las entradas/salidas en la estructura de la memoria interna del PLC, con una breve descripción del uso que se le da en el programa, la dirección, el tipo de dato y la marca o registro asociados a ellas.

<b>DOSIFICACION</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>TIPO DE DATO</b>	<b>MARCA REGISTRO</b>

Automático/ Manual	I:0/0	Entrada Digital (boolean)	B3:0/0
Sensor Tanque Polímero	I:0/1	Entrada Digital (boolean)	B3:0/1
Sensor Tanque Agua	I:0/2	Entrada Digital (boolean)	B3:0/4
ON Bomba 1	I:0/3	Entrada Digital (boolean)	B3:0/5
ON Bomba 2	I:0/4	Entrada Digital (boolean)	B3:0/6
OFF Bomba 1	I:0/5	Entrada Digital (boolean)	B3:0/7
OFF Bomba 2	I:0/6	Entrada Digital (boolean)	B3:0/8
ON/OFF Electroválvula Agua 1	I:0/7	Entrada Digital (boolean)	B3:0/9
ON/OFF Electroválvula Agua 2	I:0/8	Entrada Digital (boolean)	B3:0/10
ON/OFF Electroválvula Polímero 1	I:0/9	Entrada Digital (boolean)	B3:0/11
ON/OFF Electroválvula Polímero 2	I:0/10	Entrada Digital (boolean)	B3:0/12
Libre	I:0/11	Entrada Digital (boolean)	B3:0/13
Valor Presión Hidrostática Tanque1	I:1.1	Entrada Análoga	N7:4
Valor Presión Hidrostática Tanque2	I:1.2	Entrada Análoga	N7:9
Valor del Caudal	I:1.3	Entrada Análoga	N7:9
Valor de la Turbiedad	I:1.0	Entrada Análoga	N7:10
Activación electroválvula Agua 1	O:0/0	Salida Digital (boolean)	B3:0/15
Activación electroválvula Polímero 1	O:0/1	Salida Digital (boolean)	B3:1/00
Activación electroválvula Agua 2	O:0/2	Salida Digital (boolean)	B3:1/01

Activación electroválvula Polímero 2	O:0/3	Salida Digital (boolean)	B3:1/02
Activación motor Mezcla 1	O:0/4	Salida Digital (boolean)	B3:1/03
Activación motor Mezcla 2	O:0/5	Salida Digital (boolean)	B3:1/04
Luz piloto Roja 1	O:0/6	Salida Digital (boolean)	B3:1/05
Luz piloto Verde 1	O:0/7	Salida Digital (boolean)	B3:1/06
Luz piloto Roja 2	O:0/8	Salida Digital (boolean)	B3:1/07
Luz piloto Verde 2	O:0/9	Salida Digital (boolean)	B3:1/08
Libre	O:0/10	Salida Digital (boolean)	B3:1/09
Libre	O:0/11	Salida Digital (boolean)	B3:1/10
Bomba Dosificadora 1	O:1/1	Salida Análoga	N7:13
Bomba Dosificadora 2	O:1/2	Salida Análoga	N7:14

**Tabla 3. 1 Estructura de la Memoria del PLC.**

### **3.1.3 Programa PLC Micrologix 1500.**

#### **1. Programa Principal.**

En esta ventana se encuentran los accesos a las subrutinas denominadas: Electroválvulas y Turbiedad, a través de JUMPS que ejecutan el salto a cada una de las ventanas.

#### **2. Subrutina 1**

Denominada Electroválvulas, en esta ventana ingresan las señales de los sensores de nivel a través del modulo de entradas análogas del PLC 1769-IF4; estas entradas son escaladas de 0 a 100 para poder tener control sobre los niveles de los tanques.

Dependiendo del nivel de los tanques se desarrolla la lógica de automatización de las electroválvulas; así, cuando un tanque esta en funcionamiento y éste tiene un nivel por debajo de 30 cm. activa la electroválvula de agua del otro tanque hasta que alcance a 95% y esta a su vez activa la de polímero y el motor de mezcla hasta completar el 100%, un temporizador continua con la mezcla 10 minutos adicionales.

En esta ventana también se encuentra programado la forma manual para la activación de las electroválvulas y el mando MANUAL/AUTOMATICO para todo el sistema.

### **3. Subrutina 2.**

Denominada Turbiedad, se encuentra programado la activación en forma manual y automática de los variadores de frecuencia para el control de las bombas dosificadoras Milton Roy. Existen dos entradas análogas que corresponden a los sensores de Turbiedad y Caudal.

En ésta ventana se encuentra programado el control proporcional y a través de un escalamiento se envía a las salidas analógicas (1769-OF2) la señal para los variadores.

## **3. 2 CONFIGURACION DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN.**

### **3.2.1 Configuración del Módulo Ethernet.**

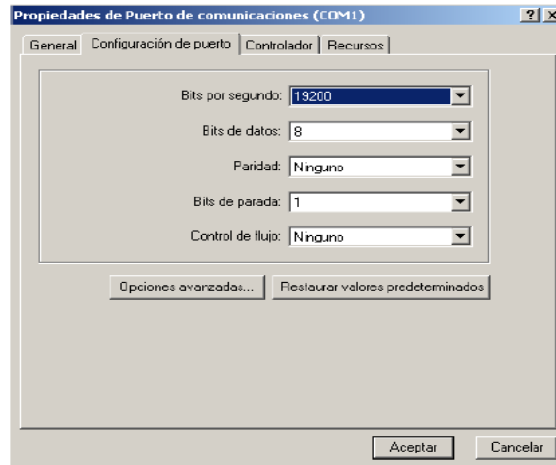
Para configurar el módulo se ha usado el software *ENI Configuration Utility* de Rockwell Software, descargable de manera gratuita en la página web de Allen Bradley. Existe otra opción de configuración por medio de un mensaje a un nodo preconfigurado (255) la cual no es recomendada por el fabricante si el usuario no se encuentra dentro de USA debido a su complejidad y por tanto se ha optado por el *ENI Configuration Utility* que es un software fácil de entender para la configuración del modulo ETHERNET.

Para realizar la configuración se debe conectar el módulo al puerto serie del ordenador personal mediante el puerto RS-232. Se precisa de alimentación externa al módulo, ya que normalmente éste toma la alimentación de la fuente del autómatas mediante el puerto RS-232, que está ocupado por la comunicación con el PC.

Para tal efecto se usará una fuente de alimentación que proporciona el voltaje de 24 Vdc. necesario para el correcto funcionamiento del módulo.

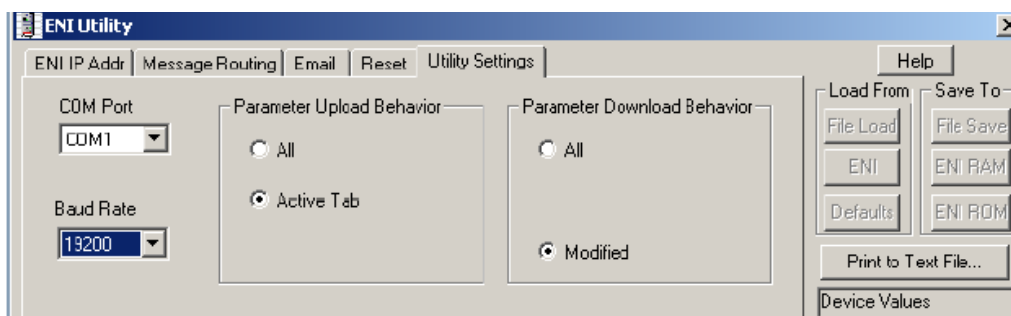
Se debe revisar en primera instancia que el puerto serie del ordenador esté libre y tenga las características adecuadas para comunicarse con el módulo. (Fig. 3.1).

La velocidad de transferencia ha de ser la misma que se ha configurado en el MicroLogix 1500 y la que se configurará en el módulo. Se ha escogido 19200 Bps, velocidad más que suficiente para la transmisión de los datos del programa.



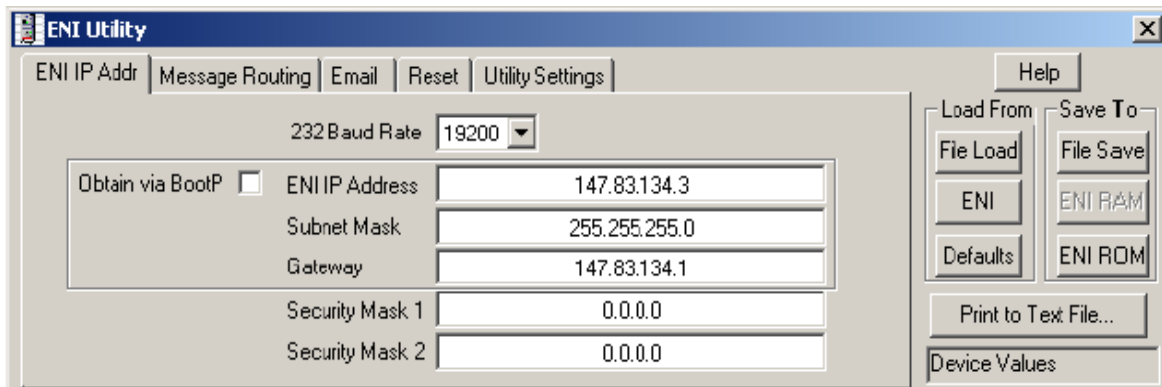
**Fig. 3.1 Configuración del puerto serie del ordenador.**

Una vez asegurada la buena comunicación y la alimentación del módulo se procede a la propia configuración del mismo. Primeramente se definen los parámetros del puerto serie del ordenador que se va a utilizar. En los parámetros del puerto serie de transferir y descargar escogemos Active Tab y Modified debido a que solo nos comunicamos con un dispositivo ENI y si tendríamos una red de dispositivos ENI se debe escoger los parámetros ALL (Fig. 3.2)



**Fig. 3.2 Definición de los parámetros de conexión con el ordenador.**

A continuación se configura la dirección IP del módulo ENI. Se debe introducir los valores de la dirección IP que se le asignará al módulo junto con los parámetros de la red en la que se encontrará (máscara de subred y *Gateway*). (Fig. 3.3).



**Fig. 3.3 Definición de la dirección IP del módulo.**

La máscara de subred se usa para interpretar las direcciones IP cuando la red está dividida en subredes, como no es el caso, solo se asigna la dirección IP. Y Gateway o pasarela es la dirección del dispositivo que realiza la unión entre la red LAN e Internet.

Finalmente, una vez configurados los parámetros anteriores, se carga a la memoria ROM del módulo para que resida en forma permanente.

Existen otras posibilidades de configuración en este software como son: configuración de las IPs de otros nodos de la red Ethernet y configuración de direcciones de correo electrónico para informar de alarmas o estados. En el caso del presente proyecto estas opciones no son necesarias, pero se deben tener en cuenta para futuras ampliaciones.

Una vez finalizados los pasos anteriores el módulo está listo para su conexión con el MicroLogix 1500 a través del puerto RS-232. Solo restará la configuración de la red y el PLC mediante el software específico.

### **3.2.2. Configuración de la Comunicación del Sistema SCADA**

Con la utilización del software RSLinx se habilita las comunicaciones tanto para programar el PLC con el RSLogix 500 como para enlazarlo con el software RSView32. Para lo cual se ingresa al RSLinx y se configura el driver de comunicación con el siguiente procedimiento:

1. En la opción Configure Driver se selecciona el interfaz de comunicación:

A1) Se elige para la interfaz **Ethernet Devices** con el protocolo para dispositivos de una red Ethernet: (Fig. 3.4).

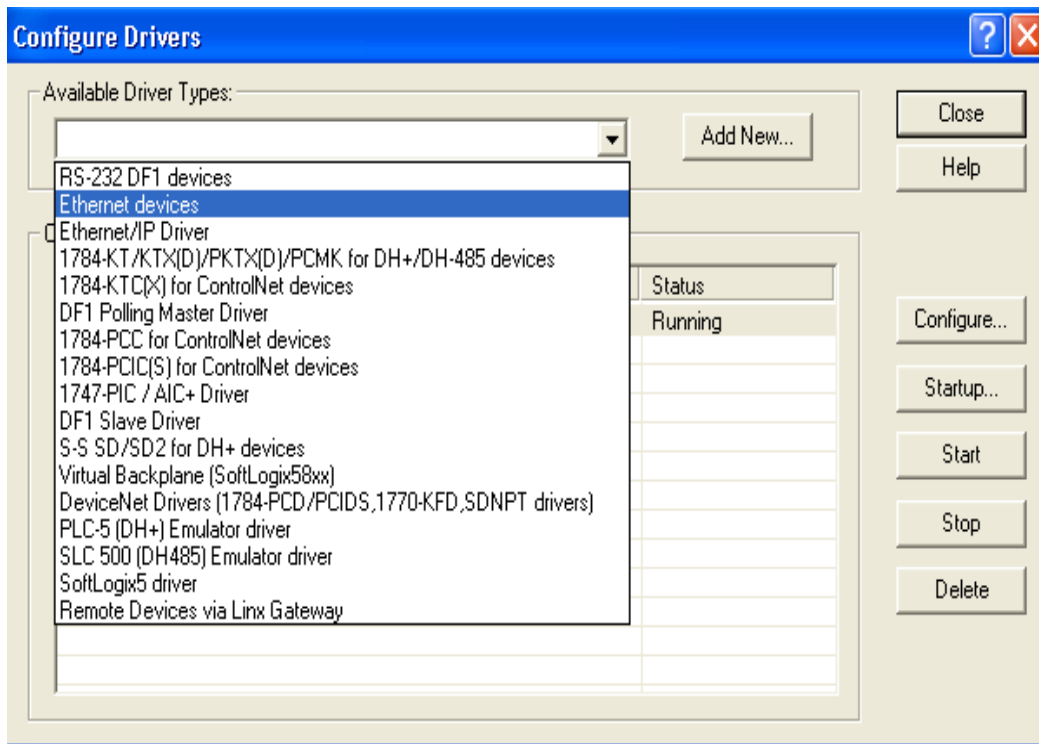


Fig. 3.4 Selección con el RSLinx del driver de comunicación para la interfaz Ethernet.

A2) Se selecciona un nombre para el driver. (Fig. 3.5).

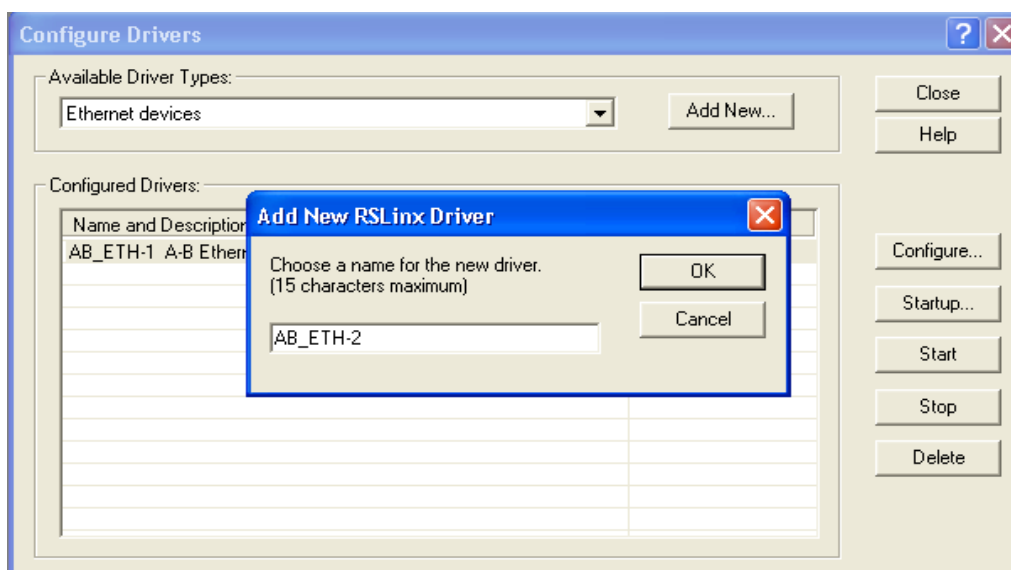
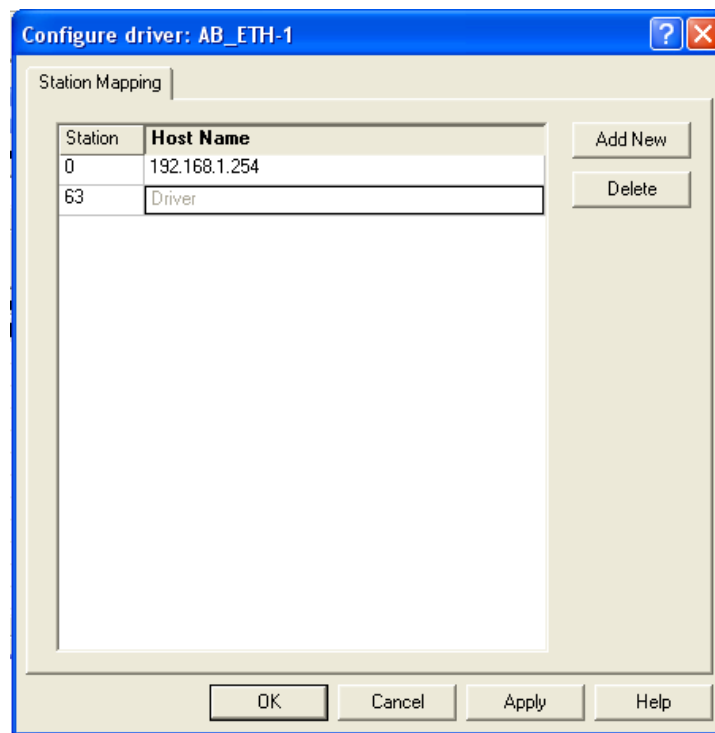


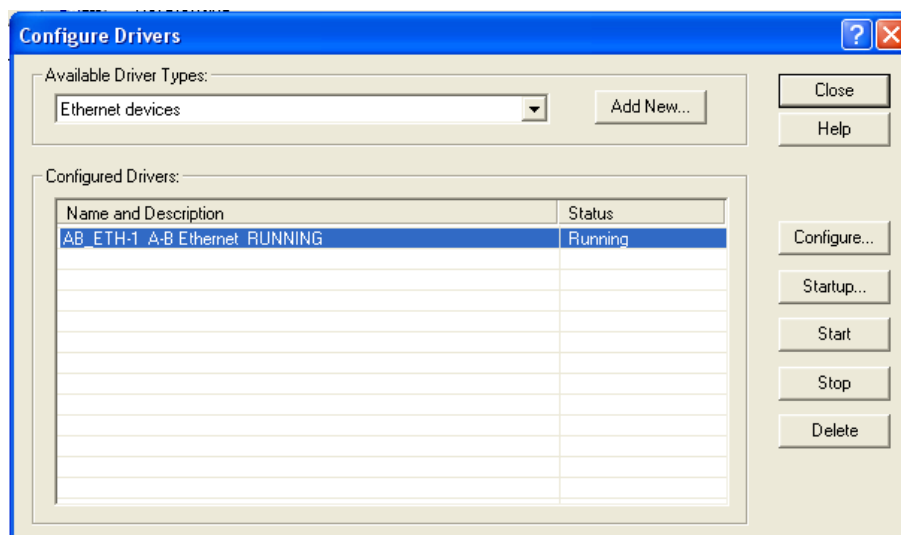
Fig. 3.5 Elección del nombre del driver de comunicación para el interfaz Ethernet.

**A3)** Se configura el driver ingresando la dirección IP del Modulo Ethernet que es la misma del PLC. (Fig. 3.6).



**Fig. 3.6** Configuración del driver para la interfaz Ethernet.

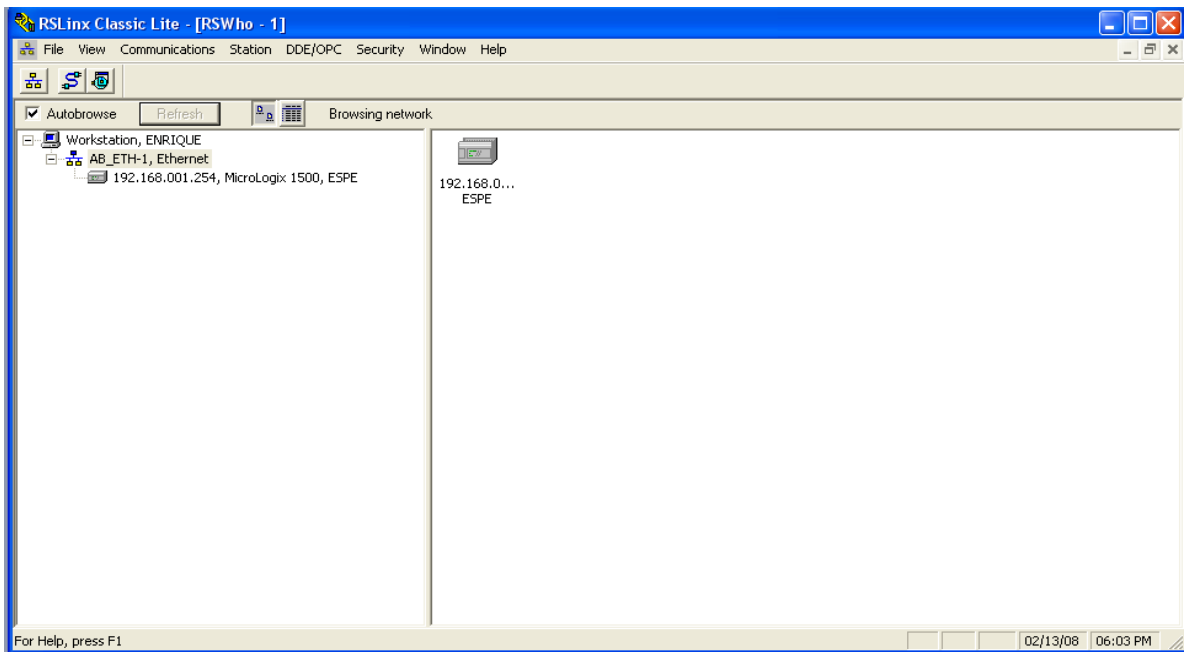
**B4)** Se ejecuta el driver. (Fig. 3.7).



**Fig. 3.7** Ejecución del driver para la interfaz Ethernet.



**B5)** Dentro del RSLinx haciendo uso del RSWho se verifica que el PLC este en red con el PC. (Fig. 3.8).



**Fig. 3.8 Verificación de la red Ethernet entre la PC y el PLC.**

### **3.3 PROGRAMACION DEL SISTEMA SCADA (RSView32).**

La aplicación del proyecto esta desarrollada sobre el software RSview32 en su versión 7.2 y corre bajo una plataforma Windows XP en un computador de escritorio ubicado en el cuarto de control de la planta de tratamiento. Este computador está enlazado con un PLC Micrologix 1500 a través de un módulo de red ethernet, permitiendo de este modo controlar y supervisar el estado de cada uno de los elementos y variables que intervienen en el proceso.

En la tabla 3.2 constan las características de los tags que son utilizados en el Programa RSView32 para conseguir el enlace con las respectivas marcas y registros del PLC y así poder leer y escribir en la memoria de programa del PLC. Además la marca que disparará su alarma. La aplicación creada se denomina **TESIS**.

Estos tags son creados y editados con el Tag Editor que se encuentra en la carpeta System de la ventana Application del RSView32.

<b>DOSIFICACION</b>				
<b>Tag Name</b>	<b>Data Type</b>	<b>Node Name</b>	<b>Address</b>	<b>Inicial Value</b>
Automático	Bit	SLC-5	B3:0/0	0
Manual	Bit	SLC-5	B3:0/1	0
Automático/Manual	Bit	SLC-5	I:0/0	0
Bomba1	Bit	SLC-5	O:0/6	0
Bomba2	Bit	SLC-5	O:0/7	0
Mezcla1	Bit	SLC-5	O:0/4	0
Mezcla2	Bit	SLC-5	O:0/5	0
Niveltanque1	Bit	SLC-5	N7:4	0
Niveltanque2	Bit	SLC-5	N7:9	0
Turbiedad	Bit	SLC-5	I:1.0/0	0
Caudal	Bit	SLC-5	I:1.0/1	0
Valvulaagua1	Bit	SLC-5	O:0/0	0
Valvulaagua2	Bit	SLC-5	O:0/2	0
Válvulapolimero1	Bit	SLC-5	O:0/1	0
Valvulapolimero2	Bit	SLC-5	O:0/3	0
Luz piloto Verde 1	Bit	SLC-5	O:0/6	0
Luz piloto Verde 2	Bit	SLC-5	O:0/7	0
Luz piloto Rojo 1	Bit	SLC-5	O:0/8	0
Luz piloto Rojo 2	Bit	SLC-5	O:0/9	0

**Tabla 3.2 Descripción de los tags.**

En la tabla 3.3 se encuentra la distribución de alarmas generadas por algoritmos de programación del sistema SCADA con una breve descripción del uso que se le da en el programa, la dirección del canal de entrada donde se obtiene el dato o evento que disparará la alarma, el tipo de dato y las marcas relacionadas con ellas.

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIPO DE DATO</b>	<b>ADDRESS</b>
Alarma de Nivel Bajo de Agua	Digital (boolean)	B3:4/10

Alarma de Nivel Bajo de Polímero	Digital (boolean)	B3:4/10
Alarma de Caudal Máximo	Digital (boolean)	B3:4/10
Alarma Turbiedad Máxima	Digital (boolean)	B3:4/10
Alarma Cambio a manual	Digital (boolean)	B3:4/10
Alarma Sobre nivel Tanque 1	Digital (boolean)	B3:4/10
Alarma Sobre nivel Tanque 2	Digital (boolean)	B3:4/10

**Tabla 3.3 Descripción de las alarmas generadas por algoritmos de programación.**

### **3.4 CONVENCIONES USADAS POR EL SISTEMA.**

Las ventanas desarrolladas para la visualización del proceso proporcionan información en tiempo real de las variables y equipos del sistema. Para que esta información se presente de manera amigable y sea fácilmente comprensible para el operador, se hace uso de ciertos colores y/o gráficas especiales que están asociados con variables medidas y con el estado de operación de los equipos.

El color rojo se usa en este caso para indicar:

- Switch desactivado (Nivel Bajo)
- Bomba OFF
- Comunicación
- Motor Mezcla OFF

El color verde para indicar:

- Switch activado(Nivel Alto)
- Bomba ON
- Modulo de Comunicaciones OK
- Motor Mezcla ON

El color amarillo indica:

- Activado Electroválvulas de Agua y Polímero.
- Activación de Bombas Dosificadoras.

En el tablero eléctrico se encuentra instalado luces pilotos que indican el estado del proceso del sistema.

Luz de Arranque y paro.- Es un indicador verde que indica que bomba está encendida (luz piloto de encendida) o apagada (Luz piloto apagada).

### 3.5 OPERACIÓN DEL SISTEMA.

El HMI de la aplicación para el Scada consta de 10 pantallas, que se describirán a continuación con sus respectivas funciones y seguridades:

**1. MENU PRINCIPAL:** Es la primera ventana que siempre aparece al correr la aplicación del Scada en el RSView y es de libre acceso; en ella se aprecia la hora, título del proyecto, logo de la empresa y el botón **PASSWORD**. En el momento que se hace clic sobre la llave, se presenta un cuadro para ingresar el texto, en donde se deberá ingresar el username y el password del usuario que va a navegar en la aplicación. (Figura 3.9).



**Fig. 3.9 Vista de la pantalla MENU PRINCIPAL.**

**2. PLANTA DE TRATAMIENTO:** Se ingresa a esta ventana al presionar el botón **PASSWORD** que se encuentra en la pantalla del **MENU PRINCIPAL**. A ella pueden acceder con la clave del username y el password del usuario que va a navegar en la

aplicación. En ésta por el momento se tiene control solo sobre el cuarto de químicos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable. (Figura 3.10).

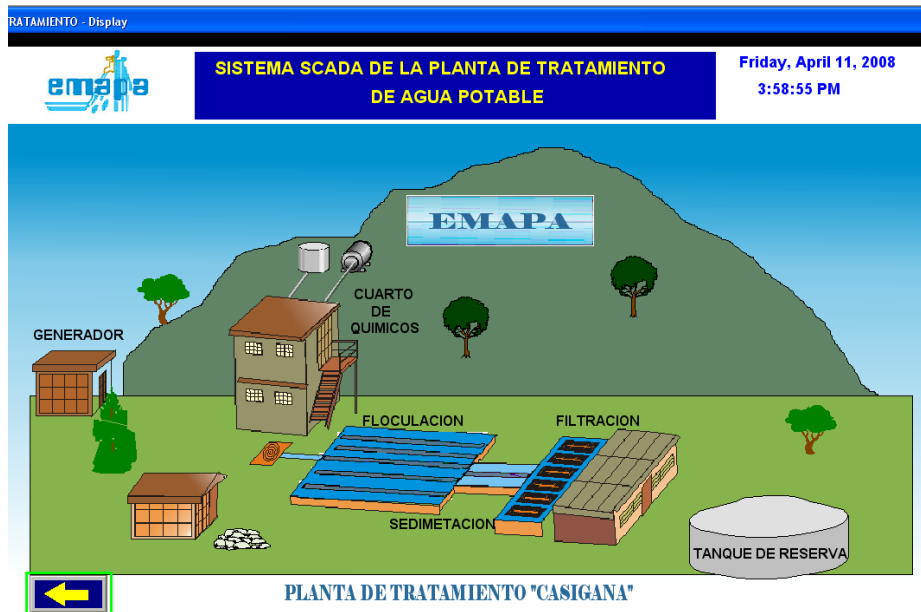


Fig. 3.10 Vista de la pantalla PLANTA DE TRATAMIENTO.

**3. DOSIFICACION:** Se ingresa a esta ventana al presionar el botón **Cuarto de Químicos** que se encuentra en la pantalla **PLANTA DE TRATAMIENTO**. En ella se puede apreciar los botones de ingreso a las pantallas de Nivel de Tanques, Turbiedad, Alarmas, Tendencias y Arquitectura del Sistema. (Figura 3.11).



Fig. 3.11 Vista de la pantalla DOSIFICACION.

**4. Nivel de Tanques:** Se ingresa a esta ventana al presionar el botón **NIVEL DE TANQUES** que se encuentra en la pantalla **DOSIFICACION**. A esta se puede acceder una vez se haya ingresado a la pantalla **PLANTA DE TRATAMIENTO**. En ella se puede visualizar en modo manual los botones para encender y apagar las electroválvulas de agua y polímero. Mientras que en modo automático estas deben estar apagadas para poder continuar: caso contrario saldrá un mensaje de Control de Operación que debe apagar algún selector de las electroválvulas. Además nos indica el nivel de los tanques y su llenado automatizado de los dos tanques con su respectiva mezcla del polímero. (Figura 3.12).

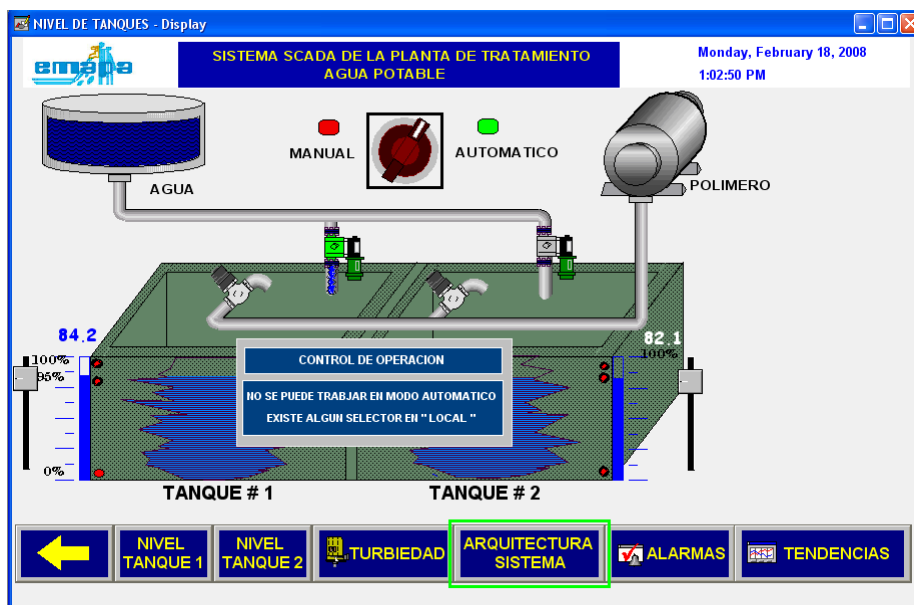


Fig. 3.12 Vista de la pantalla Nivel de Tanques.

**5. Nivel Tanque 1:** Se ingresa a esta ventana al presionar el botón **NIVEL TANQUE 1** que se encuentra en la pantalla **NIVEL DE TANQUES** o se puede ingresar dando un clic sobre el Tanque #1. A esta se puede acceder una vez se halla ingresado a la pantalla **DOSIFICACION**. En ella se aprecia el nivel del tanque # 1. (Figura 3.13).



**Fig. 3.13 Vista de la pantalla NIVEL TANQUE # 1.**

**6. Nivel Tanque 2:** Se ingresa a esta ventana al presionar el botón **NIVEL TANQUE 2** que se encuentra en la pantalla **NIVEL DE TANQUES** o se puede ingresar dando un clic sobre el Tanque # 2. En ella se aprecia el nivel del tanque # 2. (Figura 3.14).



**Fig. 3.14 Vista de la pantalla NIVEL TANQUE # 2.**

**7. Turbiedad:** Se ingresa a esta ventana al presionar el botón **TURBIEDAD** que se encuentra en la pantalla **DOSIFICACION**. En ella se puede visualizar en modo manual se puede realizar el encendido o apagado de las bombas dosificadoras y los motores para mezclar el agua con el polímero, estas en modo automático deben estar apagadas caso contrario una pantalla indica que se debe apagar algún selector. Mientras que en modo automático se visualiza cual de las bombas dosificadoras está trabajando, mediante una animación se visualiza el flujo del polímero de acuerdo con la turbiedad que está ingresando, la cual es proporcional a la turbiedad. Aquí también se puede visualizar el nivel de los tanques dando un clic sobre el tanque elegido y el valor del caudal que está ingresando a la planta de tratamiento que es alrededor de 250 lt/s. A través del botón **EXCEL** se grafica la variación del turbiedad y con esto podemos realizar una apreciación de cuanto polímero se consume. (Figura 3.15).

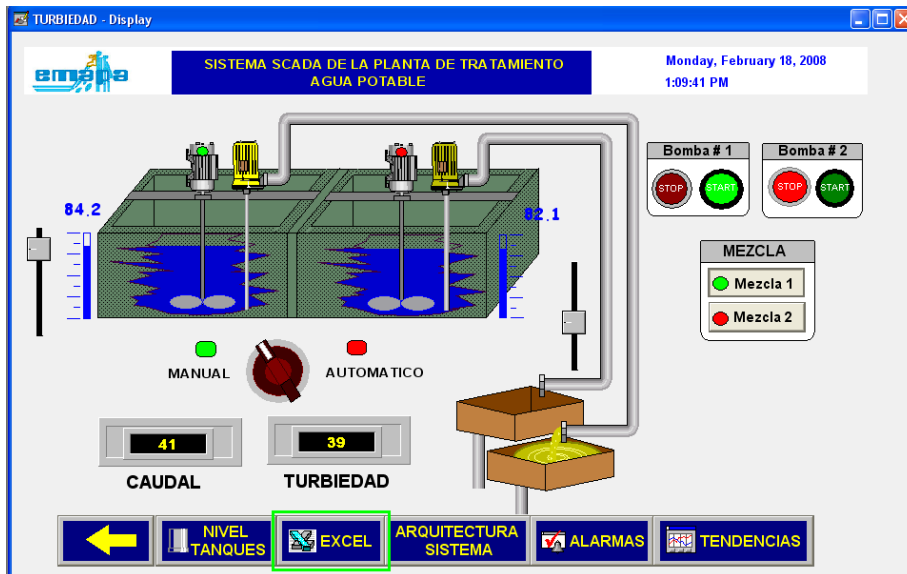


Fig. 3.15 Vista de la pantalla TURBIEDAD.

**8. Arquitectura del Sistema:** Se ingresa a esta ventana al presionar el botón **ARQUITECTURA DEL SISTEMA** que se encuentra en la pantalla **DOSIFICACION**. En ella se puede visualizar todos los dispositivos que compone este sistema scada. Posee el título de pantalla y el botón para retornar a la pantalla **DOSIFICACION** (Figura 3.16).



Fig. 3.16 Vista de la pantalla ARQUITECTURA DEL SISTEMA.

**9. Alarmas:** Se ingresa a esta ventana al presionar el botón **ALARMAS** que se encuentra en la pantalla **DOSIFICACION**. En esta se puede visualizar el tag de origen,



valor, unidades, fecha, hora y que alarma o alarmas sucedieron. Posee botones para reconocer e identificar las alarmas (Figura 3.17).



Fig. 3.17 Vista de la pantalla de Alarmas.

**10. Tendencias:** Se ingresa a esta ventana al presionar el botón **TENDENCIAS** que se encuentra en la pantalla **DOSIFICACION**. En ella se aprecia un gráfico de tendencia histórico (Historical) de los valores de turbiedad y caudal. Tiene controles que permiten variar la escala en Y (valor de la caudal y turbiedad) y en X (rango de tiempo en segundos), detener e iniciar la visualización del histórico y navegar tanto en X como en Y a través del gráfico histórico. Posee también título de pantalla, los botones Nivel de tanques, Turbiedad y para retornar a la pantalla de **DOSIFICACION**. (Figura 3.18).

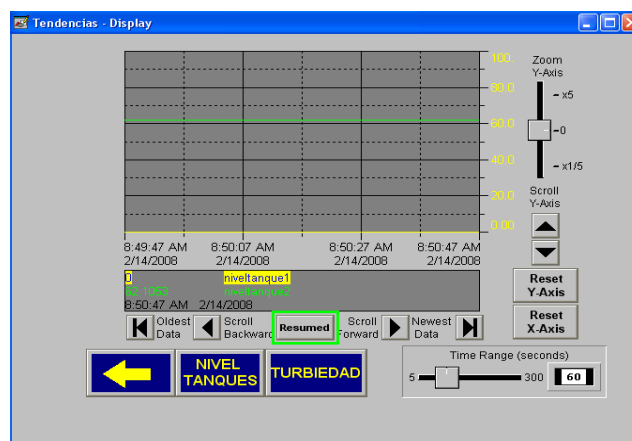


Fig. 3.18 Vista de la pantalla Tendencias.

## 11. Creación de una Base de Datos (Data Logging).

En el software RSview32 ofrece la posibilidad de registrar datos del proceso y enlazar estos archivos vía ODBC (Open Database Connectivity) con software de otros

fabricantes, para este proyecto se ha creado una base de datos en Microsoft Access nombrada TESIS en donde se almacenan los valores de los tags creados en el RSView para posteriormente usando la función Query (consultas) revisar la base de datos según el campo deseado, manipular los datos con funciones o macros, graficarlos y generar reportes útiles para las áreas gerenciales.

## CAPITULO IV

### IMPLEMENTACION Y PRUEBAS

Una vez realizada la programación del PLC, la interfaz humana máquina y la programación de los variadores de frecuencia se integró cada dispositivo al tablero de control utilizando, en algunos casos, tuberías ya existentes para reducir costos. Los sensores de presión hidrostática para medir el nivel de los tanques fueron colocados en las tuberías de desfogue donde se mezcla el polímero con agua a una razón del 5% es decir 95 cm. de agua con 5 cm. de polímero.

El tablero de control está ubicado a 1 metro del tanque N° 1 y desde allí se lleva la transmisión vía ETHERNET hasta el computador con RSview32 en el cuarto de control ubicado a 300m.

Los instrumentos de medición como Turbidímetro, Caudalímetro y Sensores de Nivel van instalados junto al tablero de control y desde ellos se realiza la transmisión de un lazo de corriente (4 – 20 mA) hacia las entradas análogas del PLC. De igual manera en el tablero principal existen pulsadores para el control en modo LOCAL que permitirán a los operadores tener manejo de las electroválvulas y las bombas en sitio.

Antes de realizar las pruebas para calibrar el control proporcional y los algoritmos en el PLC, con el personal de Laboratorio de EMAPA se realizó una tabla en la cual se muestra el tiempo exacto para la dosificación correcta tomando como referencia en 500 mililitros de solución. Tabla 4.1

Caudal	Turbiedad	Tiempo (seg)
--------	-----------	--------------

250	0	6,75
250	5	6,75
250	10	5,4
250	15	5,4
250	20	5,4
250	25	5,4
250	30	4,5
250	35	4,5
250	40	4,5
250	45	4,5
250	50	4,5
250	55	3,37
250	60	3,37
250	65	3,37
250	70	3,37
250	75	3,37
250	80	2,7
250	85	2,7
250	90	2,7
250	95	2,7
250	100	2,7
250	>100	1,9

**Tabla 4.1 Tiempo de referencia con un caudal constante**

#### **4.1 PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL SISTEMA DE SENSORES Y ACTUADORES.**

Haciendo uso de los valores almacenados en la base de datos (Data Logging de RSview32) creada para este proyecto y que se actualiza cada minuto. Se obtuvieron las siguientes tablas y tendencias de la variación de la turbiedad y caudal (Tabla 4.2, Tabla 4.3 y Tabla 4.4), obteniendo una aproximada cantidad de polímero que se utiliza.

1. Se realizó el arranque del proceso, el cual fue previamente conectado al sistema de control y supervisión diseñado e implementado en este proyecto de tesis, para realizar un seguimiento al sistema de control de dosificación. De esta manera se pudo comprobar el correcto funcionamiento del sistema de sensores (ultrasónicos, presión hidrostática, turbiedad, térmicos de protección, etc.) y actuadores (relés de activación de las bombas, relés de activación de electroválvulas, etc.). Se generó la tabla 4.2:

a) Valores tomados el 16 de Febrero del 2008 con un  $K_c = 2$  y considerando un caudal constante.

Date	Time	Caudal	Turbiedad	Tiempo en seg (500ml)
16/02/2008	11:42	223	10	12
16/02/2008	11:43	224	10	12
16/02/2008	11:44	223	10	12
16/02/2008	11:45	223	10	12
16/02/2008	11:46	222	10	12
16/02/2008	11:47	222	10	12
16/02/2008	11:48	222	10	12
16/02/2008	11:49	221	10	12
16/02/2008	11:50	222	12	10
16/02/2008	11:51	222	12	10
16/02/2008	11:52	223	11	9,5
16/02/2008	11:53	220	11	9,5
16/02/2008	11:54	217	11	9,5
16/02/2008	11:55	216	11	9,5
16/02/2008	11:56	216	11	9,5
16/02/2008	11:57	216	11	9,5
16/02/2008	11:58	216	11	9,5
16/02/2008	11:59	216	11	9,5
16/02/2008	12:00	215	11	9,5
16/02/2008	12:01	215	11	9,5
16/02/2008	12:02	214	12	10
16/02/2008	12:03	214	12	10
16/02/2008	12:04	212	12	10
16/02/2008	12:05	212	12	10
16/02/2008	12:06	212	11	9,5
16/02/2008	12:07	221	11	9,5
16/02/2008	12:08	220	11	9,5
16/02/2008	12:09	220	11	9,5

**Tabla 4.2 Valores de tiempos para 500 mililitros de solución.**

b) Valores tomados el 1 de Marzo del 2008 con un  $K_c = 1.4$  y considerando un caudal constante tabla 4.3:

Date	Time	Caudal	Turbiedad	Tiempo en seg. (500ml)
01/03/2008	16:03	234	24	7,2
01/03/2008	16:04	228	24	7,2
01/03/2008	16:05	222	24	7,2
01/03/2008	16:06	217	25	7,8
01/03/2008	16:07	216	25	7,8
01/03/2008	16:08	214	24	7,3
01/03/2008	16:09	211	24	7,3
01/03/2008	16:10	210	24	7,3
01/03/2008	16:11	210	25	7,8
01/03/2008	16:12	200	24	7,5
01/03/2008	16:13	205	24	7,3

01/03/2008	16:14	201	23	7,2
01/03/2008	16:15	196	23	7,2
01/03/2008	16:16	198	23	7,2
01/03/2008	16:17	200	23	7,1
01/03/2008	16:18	216	23	7,1
01/03/2008	16:19	230	22	7,1
01/03/2008	16:20	244	22	7,1
01/03/2008	16:21	240	23	7,3
01/03/2008	16:22	233	23	7,3
01/03/2008	16:23	227	24	7,3
01/03/2008	16:24	225	24	7,3
01/03/2008	16:25	226	24	7,3
01/03/2008	16:26	224	24	7,3
01/03/2008	16:27	222	25	7,8
01/03/2008	16:28	221	25	7,8
01/03/2008	16:29	220	25	7,8
01/03/2008	16:30	221	25	7,8

**Tabla 4.3 Valores de tiempos para 500 mililitros de solución.**

c) Valores tomados el 5 de Marzo del 2008 con un  $K_c = 1.1$  y considerando un caudal constante y una simulación de turbiedades para observar la respuesta del controlador.

Tabla 4.4:

Date	Time	Caudal	Turbiedad	Tiempo en seg (500ml)
05/03/2008	10:00	234	0	9
05/03/2008	10:01	228	5	8
05/03/2008	10:02	222	10	7
05/03/2008	10:03	217	15	6
05/03/2008	10:04	216	20	5.5
05/03/2008	10:05	214	25	5
05/03/2008	10:06	211	30	4.5
05/03/2008	10:07	210	35	4
05/03/2008	10:08	210	40	4
05/03/2008	10:09	200	45	3.7
05/03/2008	10:10	205	50	3.5
05/03/2008	10:11	201	55	3
05/03/2008	10:12	196	60	2.8
05/03/2008	10:13	198	65	2.8
05/03/2008	10:14	200	70	2.6
05/03/2008	10:15	216	75	2.5
05/03/2008	10:16	230	80	2
05/03/2008	10:17	244	85	2
05/03/2008	10:18	240	90	2
05/03/2008	10:19	233	95	1.8
05/03/2008	10:20	227	100	1

**Tabla 4.4 Valores de tiempos para 500 mililitros de solución.**

## 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA DE SENSORES Y ACTUADORES.

1. El arranque del sistema de dosificación como proceso de prueba del nuevo sistema de control y supervisión implementado, fue exitoso. Esto se puede comprobar, al observar en la tabla 4.5 que los tiempos bombeo para llenar 500 mililitros son los correctos y van de acuerdo a lo establecido por EMAPA.

Caudal	Turbiedad	Tiempo (seg)
250	5	8
250	10	7.5
250	15	7
250	20	7
250	30	6.5
250	35	6
250	40	6
250	45	6
250	50	5
250	55	5
250	60	5
250	65	4
250	70	4
250	75	3
250	80	3
250	85	3
250	90	3
250	95	2
250	100	2
250	>100	1

**Tabla 4.5 Tiempo de referencia con un caudal constante**

2. Analizando los resultados obtenidos se verifica que la dosificación responde efectivamente según la turbiedad de ingreso y esto fue comprobado en los laboratorios por los Ingenieros de EMAPA al final del proceso de tratamiento de agua potable. Con la ayuda del control proporcional se optimiza el uso del polímero.

3. Se verificó el correcto funcionamiento del llenado automático de los tanques y a través de los sensores de nivel podemos visualizar en las pantallas del SCADA el nivel de los tanques, estado de las electroválvulas y la operación de las bombas y motores de mezcla.

#### 4.4 PRUEBAS EXPERIMENTALES DE LAS COMUNICACIONES DEL SISTEMA SCADA.

Luego de realizar con éxito la programación del PLC y su comunicación con el software SCADA el RSView32 vía Ethernet a través del modulo de Ethernet ENI en las diferentes simulaciones del sistema efectuadas durante el desarrollo del proyecto, se llevaron a cabo pruebas de comunicación real entre el PLC y el software SCADA utilizando la red LAN implementada para enlazar el PLC en el tablero de control principal diseñado para este proyecto y ubicado en el Cuarto de Químicos, con el PC donde reside el SCADA, localizado en el Área de Supervisión y Control de Producción de la Planta de Tratamiento.

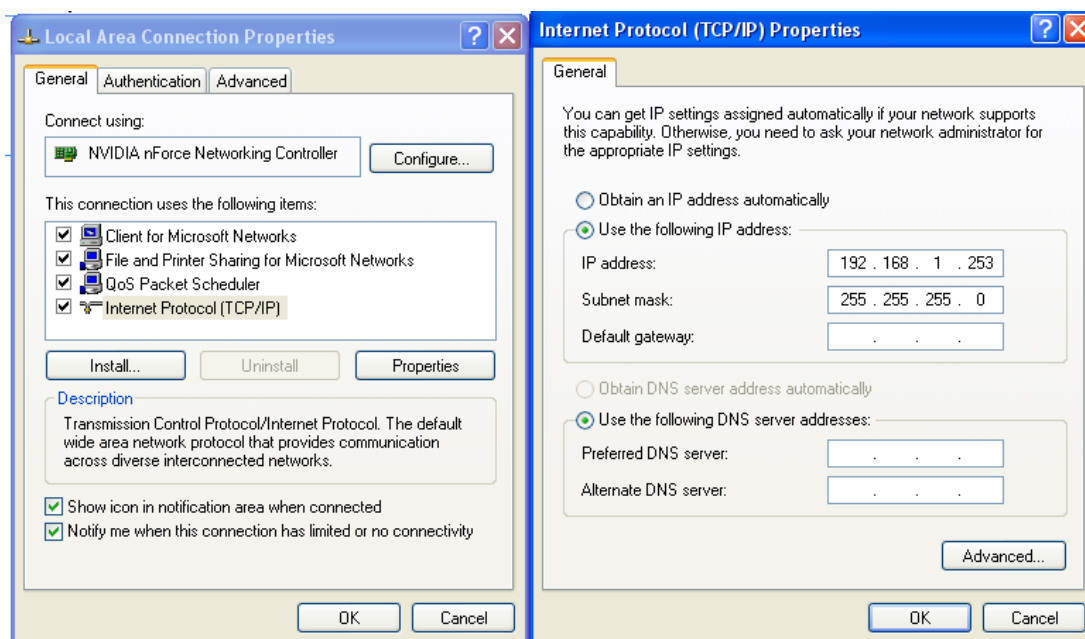
1. Como primer paso se configuró la dirección IP del PC utilizado en este proyecto para que tenga la dirección de red y máscara de subred que el PLC, con el objetivo de lograr enlazarlos. Fig. 4.1.

**IP (PLC):** 192.168.001.254

**Máscara De Subred (PLC):** 255.255.255.0

**IP (PC):** 192.168.1.253

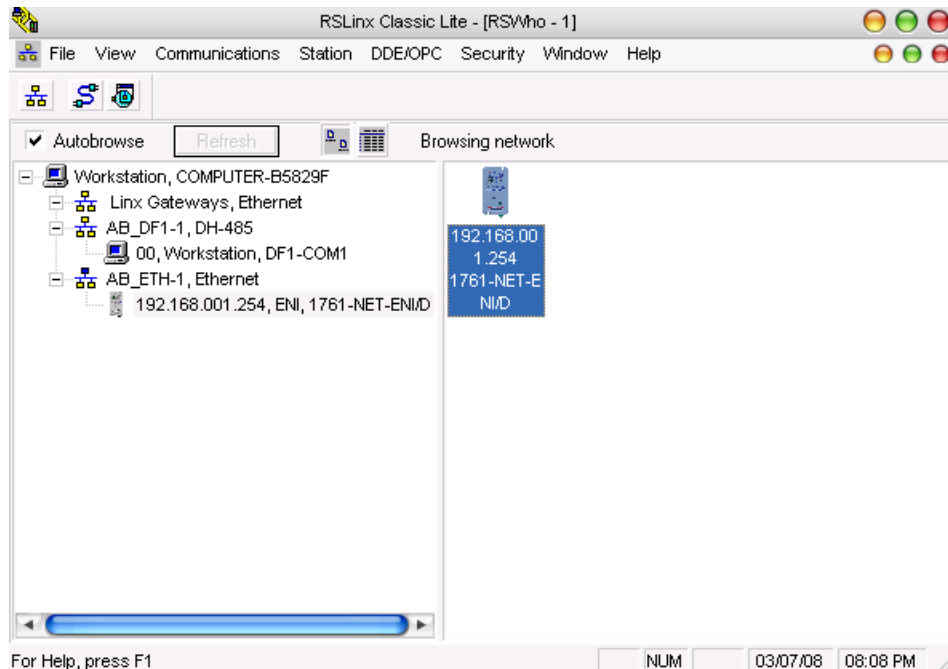
**Máscara De Subred (PC):** 255.255.255.0





**Fig. 4.1 Vista de la pantalla de configuración de la IP del PC.**

2. En RSLinx se configuró el drive de comunicación de Ethernet AB\_ETH-1, posteriormente se comprobó que el PLC esté en red con el PC (Figura 4.2).

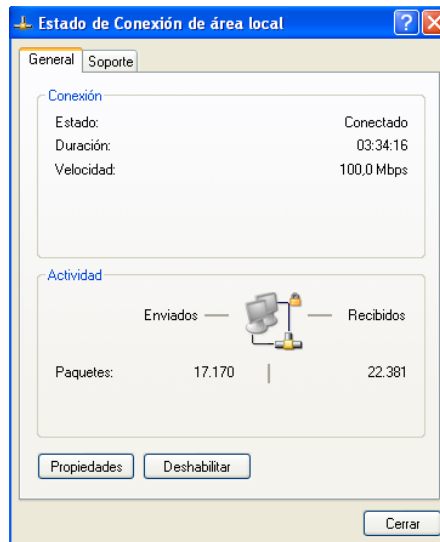


**Fig. 4.2 Vista del PLC en red con el PC en el RSLinx.**

#### **4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS COMUNICACIONES DEL SISTEMA SCADA.**

1. Ingresando a las propiedades de las conexiones de red del PC se constató el estado de la conexión y su velocidad de transmisión (Figura 4.3).

**Velocidad de Transmisión:** 100 Megabits/segundo.

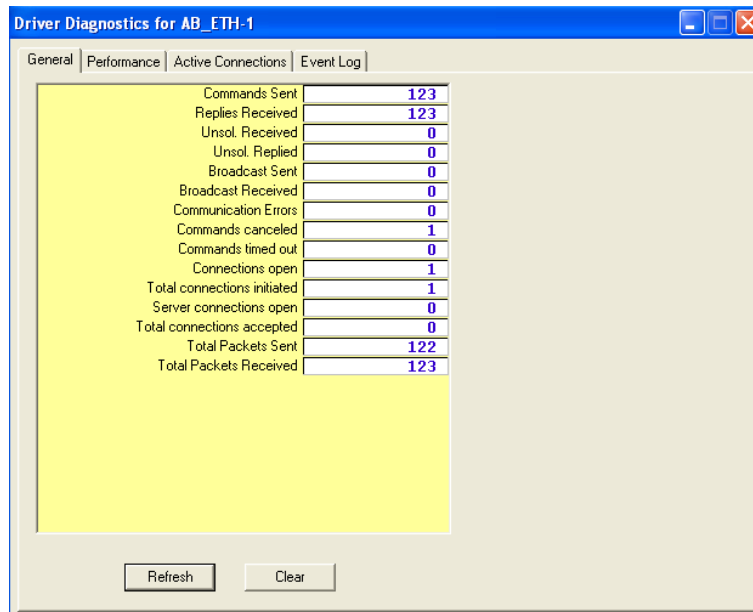


**Fig. 4.3 Vista de la ventana Estado de Conexión de Área Local en las propiedades de las conexiones del PC.**

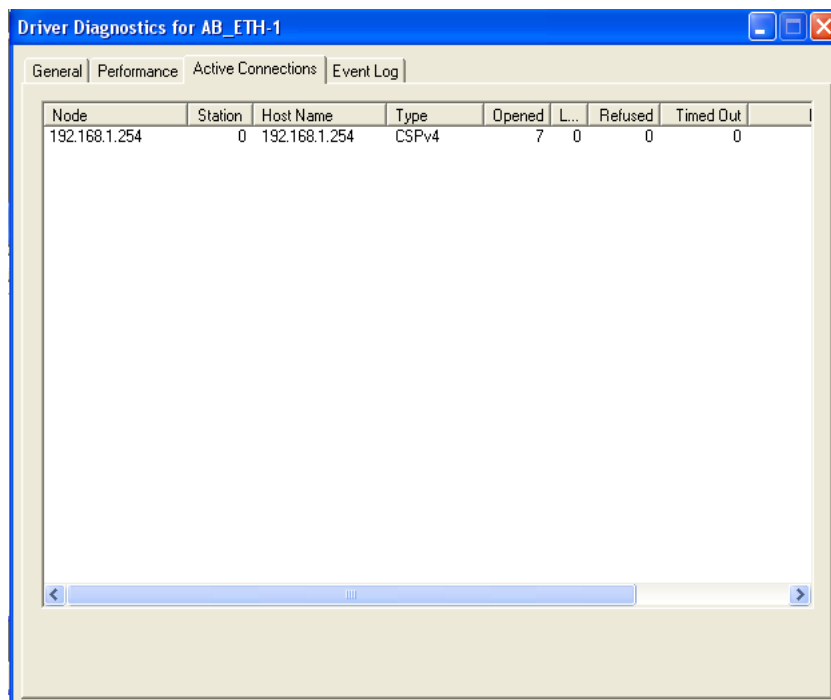
Los equipos utilizados en la implementación de la red Ethernet permitieron que ésta mantenga su máximo desempeño como una red LAN de alta velocidad, otorgando grandes prestaciones al sistema SCADA como son:

- Un tiempo de actualización de los datos del proceso (control y supervisión en tiempo real).
- Que la distancia a la que se encuentran los equipos no sea un limitante, ya que los equipos se comunican con un interfaz de red Ethernet utilizando el protocolo TCP/IP, por lo que la red LAN del sistema se puede conectar sin problemas a otras redes o al Internet, cubriendo una distancia de más de 100 metros.

**2.** Haciendo uso del Driver Diagnostics (Diagnostico del Controlador) perteneciente al menú Communications del RSLinx se revisó el tipo y calidad de la conexión, así como también el correcto envío y recepción de los paquetes de datos (Fig. 4.4 y 4.5).



**Fig. 4.4** Vista de la ventana General del Driver Diagnostics en el RSLinx.



**Fig. 4.5** Vista de la ventana Active Connections del Driver Diagnostics en el RSLinx.

- El Driver Diagnostics no mostró la existencia de ningún paquete de datos perdido, por lo tanto la comunicación entre el PC y PLC es óptima y confiable.
- Los cables de red (cruzados) construidos para cada aplicación de conexión fueron los adecuados, porque no se presentó ningún problema de conexión por su causa.

Demostrándose la validez de la teoría existente sobre las conexiones de equipos siguiendo el modelo OSI que determina que para equipos que se encuentren en la misma capa de este modelo se utilice cable cruzado y para equipos que estén en capas distintas se los conecte con cable directo.

- El tipo de cable de red seleccionado (UTP categoría 5) demostró un buen desempeño en el ambiente industrial donde fue tendido, sin presentar fallas de comunicación por la interferencia del ruido eléctrico y electromagnético al que está expuesto.

#### **4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA HMI– SCADA.**

1. La adición en la base de datos del SCADA del tiempo de llenado de los 500 mililitros requirió de muchas pruebas y modificaciones hasta encontrar una forma real y confiable de medir este parámetro tan importante en todo proceso de la planta de tratamiento, pero finalmente se consiguió este objetivo, constituyéndose en el complemento final para el sistema de control y supervisión diseñado e implementado para este proyecto de tesis.

El sistema SCADA permite verificar la efectividad del algoritmo que controla el llenado automatizado de los tanques y la turbiedad, obteniendo una baja turbiedad al final del proceso de la planta de tratamiento de agua potable, también indica a los operadores y a la supervisión el estado en que se encuentra el proceso de dosificación. Además de constatar el correcto funcionamiento de todo el sistema de control y supervisión.

2. Para realizar la calibración del sistema y conocer la respuesta de las variables se creó un registro en la base de datos del SCADA.

#### **4.6 ALCANCES Y LIMITACIONES.**

##### **ALCANCES.**

El sistema implementado es capaz de controlar y supervisar el proceso de dosificación mediante el sistema HMI-SCADA

Tiene la capacidad de accionar desde la computadora el encendido y apagado de electroválvulas, bombas dosificadoras y motores de mezcla así como la supervisión de estos actuadores y de las variables como turbiedad, caudal y nivel, en tiempo real.

Por otra parte el programa presenta las tendencias del caudal y turbiedad los valores suministrados por los sensores respectivamente para ser almacenados en EXCEL.

Las Bombas tienen la suficiente potencia para suministrar el flujo continuo que se necesita a través de los variadores de frecuencia.

El software desarrollado permitirá a las personas pertenecientes a la EMAPA visualizar todo el Sistema pero solo para supervisar y no tendrán acceso a la programación del PLC ni del SCADA, el cual es independiente de la Planta de tratamiento de Agua Potable.

**Con la automatización se logra reducir costos de producción al economizar la cantidad de polímero suministrado debido al control proporcional. Con una perfecta dosificación se obtiene una turbiedad final de estándares internacionales.**

#### LIMITACIONES.

El PLC está limitado a una capacidad de entradas, salidas digitales y analógicas, lo cual podría ser una limitación importante en el caso de que en el futuro se necesitará desarrollar un sistema SCADA de toda la planta de tratamiento.

Al ir desarrollando el sistema se comprendió que en realidad se trataba de un proyecto de mayor envergadura y muy ambicioso, y que debido a las limitaciones económicas que representa adquirir componentes costosos se realizó la medición de nivel indirectamente a través de los sensores de presión hidrostática.

Ya que en la realización se utilizó bombas dosificadoras utilizadas con otros químicos, éstas presentan ciertas desventajas mecánicas, una de ellas es que no posee una succión continua del polímero. Otra es la respuesta de los sensores de presión hidrostática que está sobredimensionado y su rango útil es pequeño.

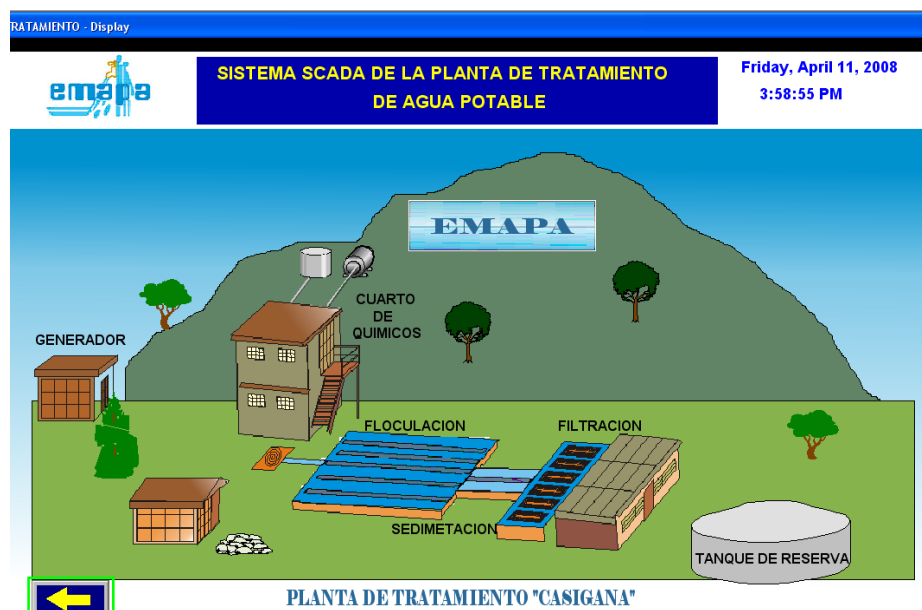
#### **4.7 MANUAL DE OPERACIÓN.**

1. Al iniciar RsView32 en ambiente Runtime muestra la pantalla principal del proyecto donde al hacer clic sobre password aparecerá una ventana en la cual debe ingresar el usuario y su contraseña para poder acceder a las otras pantallas. Cabe resaltar que cada usuario tiene su propia username y password, dependiendo del grado de autoridad del sistema. Fig 4.6



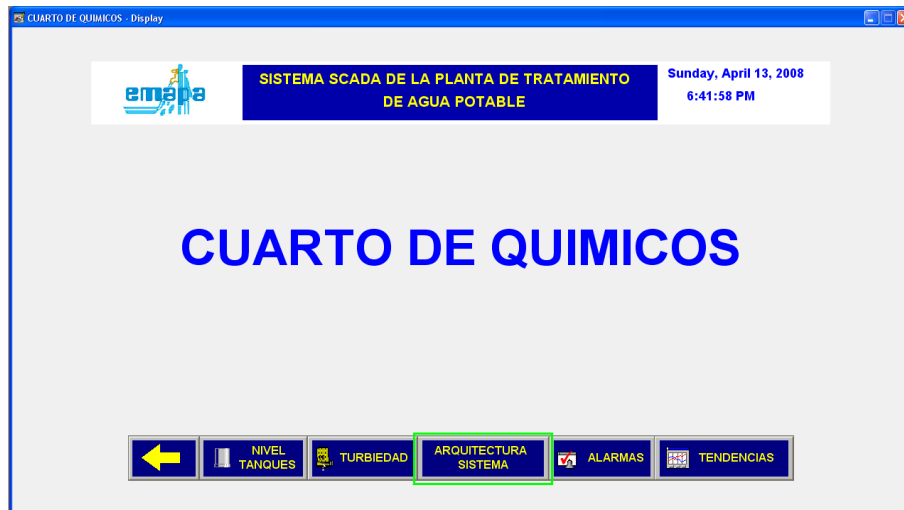
Fig. 4.6 Vista de la pantalla Menú Principal.

2. La siguiente pantalla muestra la Planta de Tratamiento del CASIGANA, el proyecto fue desarrollado únicamente sobre el cuarto de químicos por lo que se debe hacer clic sobre este e ingresar a su control. Fig. 4.7.



**Fig. 4.7 Vista de la pantalla Planta de Tratamiento.**

3. En la pantalla CUARTO DE QUMICOS encontrará las opciones: Nivel de Tanques, Turbiedad, Arquitectura del Sistema, Alarmas, Tendencias, donde al pulsar sobre una de estas podrá ingresar a sus respectivas pantallas. Fig. 4.8.



**Fig. 4.8 Vista de la pantalla Cuarto de Químicos.**

4. En la pantalla NIVEL DE TANQUES se puede observar los tanques para la dosificación con un control MANUAL/AUTOMATICO donde si está en el modo manual aparecerá una ventana con el mando para encender las Electroválvulas de Agua y polímero identificadas para el tanque 1 y 2; en el modo automático la ventana de las Electroválvulas desaparece ya que estas se activan automáticamente según los niveles de los tanques de acuerdo con la lógica de programación. Para observar el nivel de los tanques se pulsa sobre ellos o en la barra de selección inferior y se desplegará una ventana indicando su nivel en porcentaje. Fig.4.9.

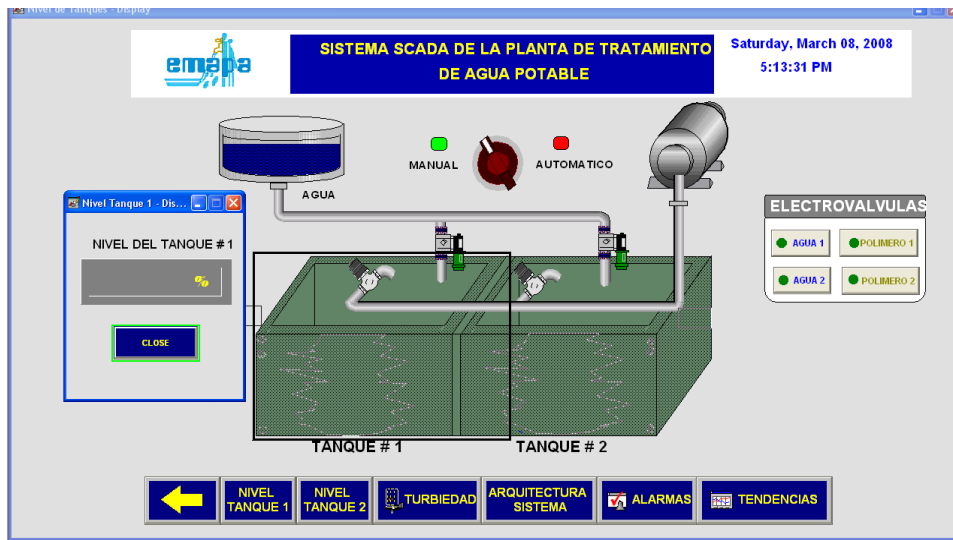


Fig. 4.9 Vista de la pantalla Nivel de Tanque.

- Al ingresar a la pantalla TURBIEDAD puede visualizar las bombas dosificadoras y los motores de mezcla con sus respectivos mandos de control siempre y cuando se encuentre en modo manual; en modo automático las bombas y motores de mezcla se encienden de acuerdo a la lógica de programación y desaparece la ventana con sus controles, se puede observar también el caudal de ingreso a la planta y la turbiedad.

Fig. 4.10.

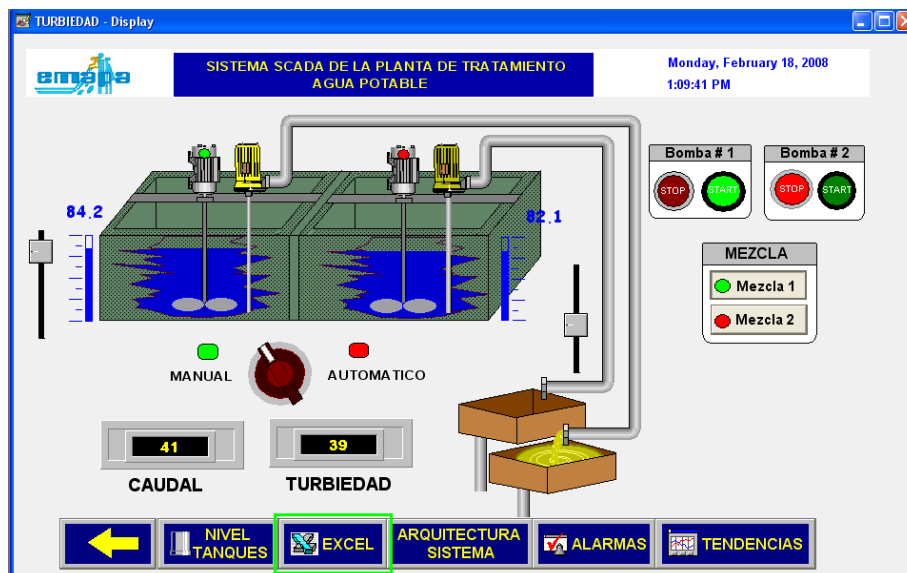


Fig. 4.10 Vista de la pantalla Turbiedad.

- En la pantalla BASE DE DATOS se encuentran las opciones para visualizar los datos (Caudal, Turbiedad), las alarmas, las actividades (usuarios, tiempos y



acciones) y un botón de configuración que permite elegir los tags que deseamos ver y la descripción Fig. 4.11.



Fig. 4.11 Vista de la pantalla Base de Datos.

- En la Pantallas de ALARMAS nos muestra todas las alarmas que genera el sistema, posee botones para reconocer una y otro para reconocer todas las alarmas presentes. Fig. 4.12.

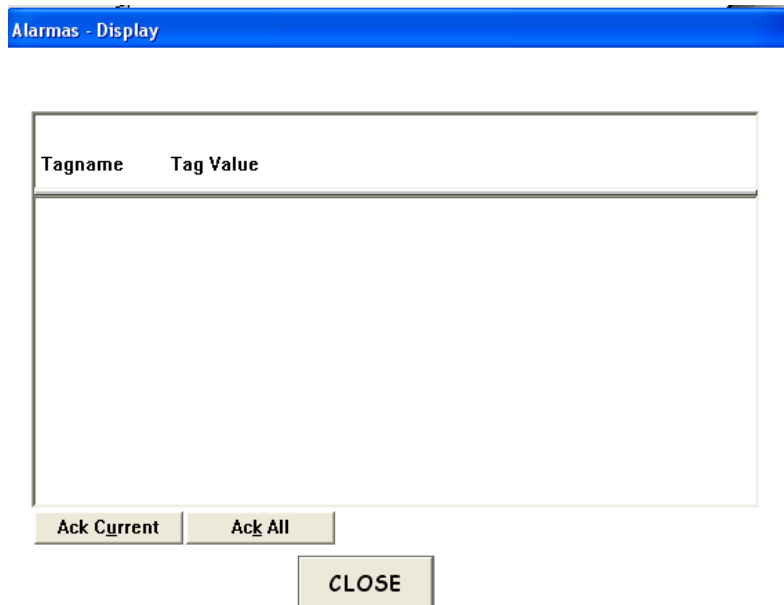


Fig. 4.12 Vista de la pantalla Alarmas.

#### 4.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

## CONCLUSIONES:

- El software desarrollado permitirá en el futuro integrar toda la automatización de la planta y tener el control sobre cada una de las variables e integrar a un sistema completo SCADA de todas las instalaciones de EMAPA en la ciudad de Ambato.
- Se redujo la turbiedad final a estándares internacionales, además se reducen costos de operación en cantidad de polímero dosificado, cumpliendo así la expectativa del equipo de ingenieros de la empresa.
- En algunos sistemas no hay necesidad de calibrar un controlador PID como en el presente proyecto en donde se encuentra operando únicamente el control proporcional respondiendo con las necesidades del sistema.
- El error residual producido por el control proporcional es más evidente en la parte superior del rango de operación, sin embargo no perjudica al proceso y se ha tratado de corregirlo.
- Los sensores de presión hidrostática que se utilizaron están sobredimensionados por lo que se requirió de trucos en la programación para poder realizar la calibración correcta de los mismos y así tener un ajuste del nivel de acuerdo a la regleta de medición colocada en los tanques.
- Las tuberías de succión de las bombas no llega a absorber toda la solución y tenemos un residuo que fue considerado en la programación y es recuperado en un nuevo llenado de los tanques.
- Se constató que el hardware seleccionado para este proyecto, teniendo como centro de operaciones y control al PLC Micrologix 1500 de Allen-Bradley tiene una gran robustez y versatilidad, posee un amplio set de instrucciones de programación, instrucciones muy poderosas, facilitando la implementación de los algoritmos diseñados. Los únicos inconvenientes son los altos costos de estos equipos y el software que requieren.
- Los paquetes de software con que cuenta Rockwell Automation son muy completos y adaptables a las necesidades del usuario, en especial el software para el SCADA, el RSView32. Este software cuenta con todas las herramientas para desarrollar un SCADA de forma eficiente y sencilla, destacándose sus librerías, resúmenes de alarmas, Trends (gráficos de tendencias) de una gran variedad como Real Time, Históricos, etc., fácilmente configurables.

- Se comprobó que el interfaz HMI fue fácil de entender por los operadores y permite tener un control en tiempo real de la dosificación y la automatización de los tanques, además gracias a la versatilidad de RSview32 se puede guardar los históricos en un archivo de Excel para luego ser almacenado por la empresa.

### **RECOMENDACIONES:**

- Se recomienda mejorar las protecciones del tablero de control, no se instaló un breaker general y tampoco disponíamos de guardamotores para los variadores y están instalados únicamente disyuntores que podrían causar problemas y daños en los equipos cuando haya descargas eléctricas o fallas de energía.
- Cuando existe un corte de energía el generador tarda un segundo en iniciar su operación tiempo en el cual los equipos como Turbidímetro y Caudalímetro sufren una desconexión que produce que estos presenten fallas y se deben resetear manualmente y verificar sobre todo en el Turbidímetro que el display esté mostrando correctamente su valor.
- Se debe tener siempre bien cerradas las válvulas en las tuberías de desfogue de los tanques ya que los sensores de presión hidrostática están instalados en dichas tuberías y si se libera la presión, el PLC no detecta el nivel del tanque y la automatización de las electroválvulas falla y todo el proceso queda sin funcionamiento.
- Capacitar adecuadamente al personal de Mantenimiento involucrado en la utilización del hardware Allen-Bradley y software Rockwell Automation con la que cuenta este sistema HMI-SCADA con el fin de que se pueda realizar unas correctas acciones de monitoreo, mantenimiento preventivo y correctivo del sistema.
- Antes de efectuar cualquier operación con el sistema de supervisión y control del proceso de dosificación del polímero, leer detenidamente el manual de operación y mantenimiento adjuntos a esta tesis.
- La fuente para los sensores de presión hidrostática deben ser exacta de 24 V CD ya que se pueden presentar dificultades con una fuente de menos de 23.5 V CD y esta señal no es suficiente para el PLC.
- Debido al tipo de cable de red seleccionado (UTP categoría 5), se recomienda usar canaletas o ductos adecuados que no interfieran en el buen desempeño de las comunicaciones.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **Libros y Manuales:**

1. CREUS Antonio. “Instrumentación Industrial”. Barcelona, España. Marcombo, 1998.
2. ROCKWELL AUTOMATION. “Unidad Base del Controlador Programable MicroLogix™ 1500”. USA, Noviembre 1998.
3. ROCKWELL AUTOMATION. “Manual de referencia del conjunto de instrucciones, Boletines 1762 and 1764”. USA, Octubre 2002.
4. ROCKWELL AUTOMATION. “Compact I/O Analog Modules 1769-IF4, -IF8, -OF2, -OF8C, and -OF8V, User Manual”. USA, July 2005.
5. ROCKWELL AUTOMATION. “Compact™ 1769-OF2 Analog Output Module, Installation Instructions”. USA, December 2000.
6. ROCKWELL AUTOMATION. “Micrologix™ Ethernet Interface 1761-NET-ENI and 1761-NET-ENIW, User manual”. USA, August 2005.
7. ROCKWELL AUTOMATION. “Variador de velocidad 160 SSC, Manual del Usuario”. USA, Mayo 1998.
8. ROCKWELL AUTOMATION. “RSLogix 500, Getting Results Guide”. USA, July 2005.
9. ROCKWELL AUTOMATION. “RSLinx, Getting Results Guide” USA, June 2005.
10. ROCKWELL AUTOMATION. “RSView32, User’s Guide”. USA, September 2003.

### **Enlaces de Internet:**

1. **Visión General y Procesos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable:**

<http://www.aguapurificacion.com>

## **2. Autómatas Programables:**

<http://http://www.depeca.uah.es/wwwnueva/docencia/IT-INF/ctr-eco/Tema5.pdf>

## **3. Turbidímetro Hach SC100™**

Sistema de Análisis Hach sc100™ Manual de Operación Hach Company, U.S.A. 1ra. Edición

<http://www.hach-lange.es>

## **4. Bombas Dosificadoras Milton Roy**

[www.miltonroy-europe.com](http://www.miltonroy-europe.com)

## **5. Sensor de Presión Hidrostática Cerabar T PMC 131**

<http://www.endress.com>

## **6. Caudalímetro de Canal Abierto CHANFLO™**

[www.us.water.danfoss.com](http://www.us.water.danfoss.com)

## **7. Ejemplos de Sistemas Scada:**

<http://www.infopl.net/Ejemplos/Ejemplos.htm>

## **8. Software para SCADA:**

<http://www.infopl.net/Descargas/Descargas.htm>

## **9. Programación con el RSLogix500:**

[http://www.citcea.upc.edu/projecte/labremot/cap8\\_RSLogix.pdf](http://www.citcea.upc.edu/projecte/labremot/cap8_RSLogix.pdf)

## **10. Departamento de Electrónica de la Universidad de Alcalá España. “Control Electrónico, Control distribuido, Adquisición de datos y PLC’s”:**

<http://www.depeca.uah.es/docencia/IT-INF/ctr-eco/>

**11. Proyecto de Aplicación Web Práctico con el PLC Allen-Bradley Micrologix 1500 y el Módulo ENI (*Ethernet Network Interface*) Centro de Cooperación para el Desarrollo (CCD) de la UPC (Universidad Politécnica de Cataluña), Departamento de Ingeniería Eléctrica de la ETSEIB, la Universidad de Oriente de Santiago de Cuba (Cuba) y la Universidad Web de Curazao (Antillas Holandesas), la Unión Europea mediante el programa ALFA con el título "Interactive Programs for Distance Learning of Modules of Industrial Automation"**

<http://biblioteca.upc.es/PFC/arxius/migrats/36068-1.pdf>

**12. Web oficial con Información y Manuales de los PLC's, Programas de Rockwell Automation y Equipos Allen-Bradley:**

<http://www.rockwellautomation.com>

## ANEXO A

### GLOSARIO

**10BaseT** Estándar de cableado para Ethernet que utiliza dos pares trenzados de hilo de cobre como medio de transmisión. La distancia máxima permitida entre los dispositivos o a un hub o un switch de red es de 100 m. Los dispositivos Ethernet se conectan con un conector de tipo RJ-45. El cable 10BaseT ofrece una velocidad de transmisión de 10 Mbits/s, mientras que la del cable 100BaseT es de 100 Mbits/s.

**Agua:** El agua es uno de los recursos naturales fundamentales y es uno de los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo, junto con el aire, la tierra y la energía.

**Acción Directa:** En un control de acción directa, la salida aumenta cuando la variable del proceso es mayor a la variable deseada. Este es el tipo de acción que se necesita en sistemas de enfriamiento, donde la temperatura deseada es menor a la temperatura ambiente.

**Acción Inversa:** En un control de acción inversa, la salida aumenta cuando la variable del proceso es menor a la variable deseada. Este es el tipo de acción que se necesita en sistemas de calentamiento, donde la temperatura deseada es mayor a la temperatura ambiente.

**Actuador:** Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o

controlador y dá una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas.

**Algoritmos de Control Industrial:** Combinación de funciones lógicas, secuenciales, una serie de mecanismos y funciones adicionales para adecuarse a los requerimientos de los sistemas de control y automatización industrial, lo que dá lugar a dispositivos especializados para el control de temperatura, velocidad, distribución de energía, transporte, máquinas-herramientas, reacción química, fermentación, entre otros.

**Bomba Dosificadora:** Es una bomba electromecánica compacta, lubricada con aceite en carter cerrada, con caudal regulable en marcha o parada.

**Carter:** Cubierta rígida que sirve para proteger las piezas de una máquina que giran con rapidez, contra la intrusión de cuerpos extraños.

**Coagulación:** Comprende la adición de reactivos químicos con la finalidad de desestabilizar los coloides en suspensión.

**CSMA/CD:** Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect (protocolo de acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones): Método de acceso al medio Ethernet en el que todos los dispositivos luchan por acceder a la red para transmitir datos. Si un dispositivo detecta la señal de otro mientras trata de transmitir, la transmisión se interrumpe y se produce un nuevo intento transcurrido cierto tiempo.

**Diagrama de Contactos (Programación de PLCs Ladder LD):** Tiene sus orígenes en los Estados Unidos. Está basado en la presentación gráfica de la lógica de relés.

**Dirección IP:** La dirección IP es un número de 32 bits que identifica a un dispositivo de red. Se compone de cuatro partes. En primer lugar, el identificador de una red concreta, y en segundo lugar, un identificador del dispositivo determinado dentro de la red. Dado que el número de direcciones IP formadas por un número de 32 bits es finito.

**Dirección MAC:** La Media Access Control Address o dirección de control de acceso al medio es un número hardware único que se asigna al dispositivo Ethernet en el momento de su fabricación. Por lo general, la dirección MAC no se puede modificar.



**Electroválvula:** Es un dispositivo diseñado para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. Una electroválvula solamente tiene dos estados, abierto y cerrado, y no sirve para modular el flujo

**Floculación:** Promueve colisiones entre las partículas desestabilizadas en la coagulación, por efecto del transporte de fluido, formando partículas de mayor tamaño, visibles a la vista: los flóculos

**Full Dúplex:** Método de comunicación bidireccional en el que las señales pueden circular en ambas direcciones simultáneamente.

**Half Dúplex:** Método de comunicación bidireccional en el que las señales no pueden circular en ambas direcciones simultáneamente, sino solamente en una de ellas.

**IEEE802.3:** Es la norma de especificación de Ethernet.

**Instrumentación Industrial:** Todo instrumento y dispositivos asociados utilizados para medir, controlar, comunicar, registrar y señalar los atributos físicos de la variable medida o del proceso.

**IP:** El Internet Protocol (protocolo de Internet) transporta los paquetes de un nodo a otro sin tener en cuenta su contenido. IP envía cada paquete en función de una dirección de destino de cuatro bytes (la dirección IP).

**LAN:** Una red de área local es un grupo de ordenadores o dispositivos Ethernet que comparte una estructura de comunicaciones. El tamaño de las redes LAN oscila entre un par de dispositivos y varios cientos.

**Linealidad:** Mide en qué grado la característica entrada-salida del instrumento se puede aproximar a una línea recta. Se suele expresar como el error máximo que se cometería al aproximar la función por una línea recta. Esta cualidad es muy deseable ya que implica una sensibilidad similar en todo el rango de medida.

**Máscara de subred:** Cuando varios dispositivos Ethernet desean comunicarse por Internet o a través de un router, debe existir un método que permita al router comprobar si el destino del paquete se encuentra en la red local o en otra red. El router sabe qué bits de la máscara de subred debe comprobar, pues un «1» indica que forma parte de la ID

de la red, mientras que un «0» indica que forma parte de la ID del servidor. El límite entre la ID de la red y la del servidor no se puede determinar analizando únicamente la dirección IP.

**OPC:** OLE Process Control. (OLE para control de procesos.) Estándar abierto que permite a los dispositivos comunicarse entre sí de forma totalmente abierta con independencia de quién haya fabricado cada uno de ellos.

**PCCC:** (*Programmable Controller Communications Commands*) Se entiende los comandos de comunicación de un controlador programable.

**Password:** Cuadro para ingresar el texto, es decir el username y el password del usuario que va a navegar en la aplicación

**Paquete:** Es la unidad de datos que se transmite de un dispositivo de origen a otro de destino en Internet. Cuando un dispositivo solicita datos, la capa TCP del protocolo TCP/IP divide el archivo en paquetes. TCP/IP numera cada uno de los paquetes de tal modo que, aunque se transmitan por caminos diferentes, es posible restaurarlos correctamente en el dispositivo de destino. El tamaño de los paquetes varía entre 48 y 1.518 bytes (1.522 bytes si incluyen una etiqueta de prioridad).

**Polímero:** Los polímeros son compuestos químicos cuyas moléculas están formadas por la unión de otras moléculas más pequeñas llamadas monómeros

**Precisión:** Grado en que la medida que proporciona se aproxima a un valor patrón de medida o a medida ideal.

**Programas:** Los *programas* son “un conjunto lógico de todos los elementos y construcciones del lenguaje de programación que son necesarios para el tratamiento de la señal prevista que se requiere para el control de una máquina o proceso mediante el sistema de autómatas programables”. Un programa puede contener, aparte de la declaración de tipos de datos, variables y su código interno, distintas instancias de funciones y bloques funcionales.

**Rango:** Conjunto de valores de la variable que puede medir el instrumento. Se especifica mediante el límite inferior y el superior.

**Resolución:** Incremento mínimo de la variable de entrada que produce un cambio observable en la salida. Este concepto está ligado al de banda muerta y sensibilidad. Se expresa en términos absolutos o porcentuales sobre el alcance.

**Sensor:** Dispositivo que está en contacto con la variable que se mide.

**Sistemas HTG:** Están basados en la medida de nivel mediante transmisores de presión hidrostática, siendo éste el sistema más preciso, fiable y reconocido para la medición de nivel en tanques.

**TCP:** El Transmission Control Protocol o protocolo de control de transmisión se encarga de entregar y verificar los datos transmitidos de un dispositivo a otro. El protocolo detecta los errores o datos perdidos y puede activar una retransmisión hasta que los datos se hayan recibido completos y sin errores.

**TP:** Puerto de par trenzado de cobre.

**Tanques de distribución:** Desde donde se distribuye a toda la ciudad.

**Trama:** Una trama es un conjunto de datos que se transmite entre dos dispositivos Ethernet como una unidad completa con información de direccionamiento y control de protocolo. La información se transmite en serie, bit a bit.

**Transductor:** Modifica la naturaleza de la señal que proporciona el sensor para hacerla más fácilmente medible.

**Transmisor:** Convierte la señal del transductor en una señal estándar que se transmite al sistema de control (al ser estándar es compatible con cualquier instrumento de control con independencia de su marca comercial).

**Turbidez:** Refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación

**Variador de Frecuencia:** Es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

## **ANEXO B**

### **PROGRAMACION DEL PLC Y RSVIEW32**

## B.2 Programación del Rsvie32

### B.2.1 Configuración del acceso al sistema SCADA:

1. Se escoge los parámetros del botón, primero la forma del botón (Fig. B.1).

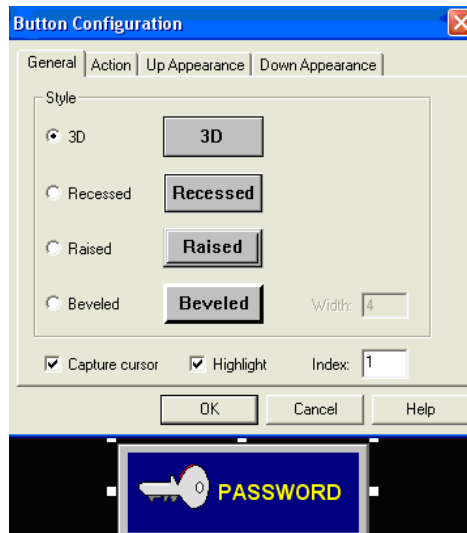


Fig. B.1 Configuración Botón

2. La programación se ejecuta por medios de comandos, el cual es LOGIN y esta llama a una pantalla para ingresar el username y el password que se le da al operador y supervisor. (Fig. B.2)

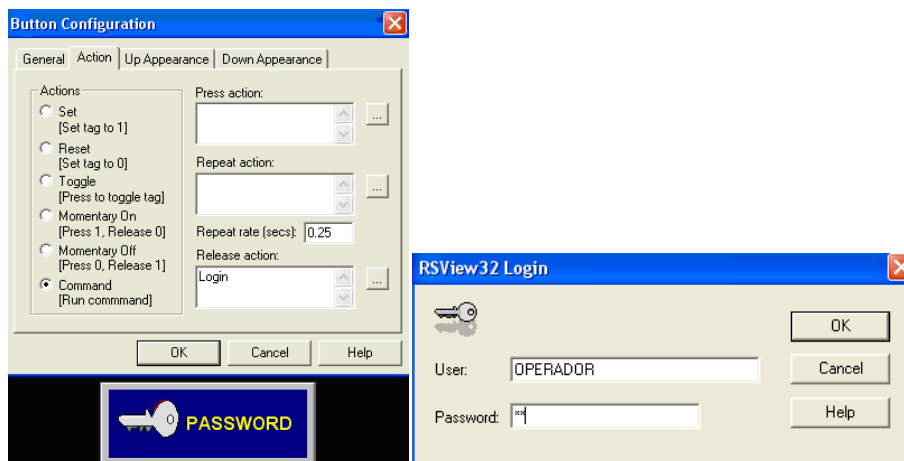
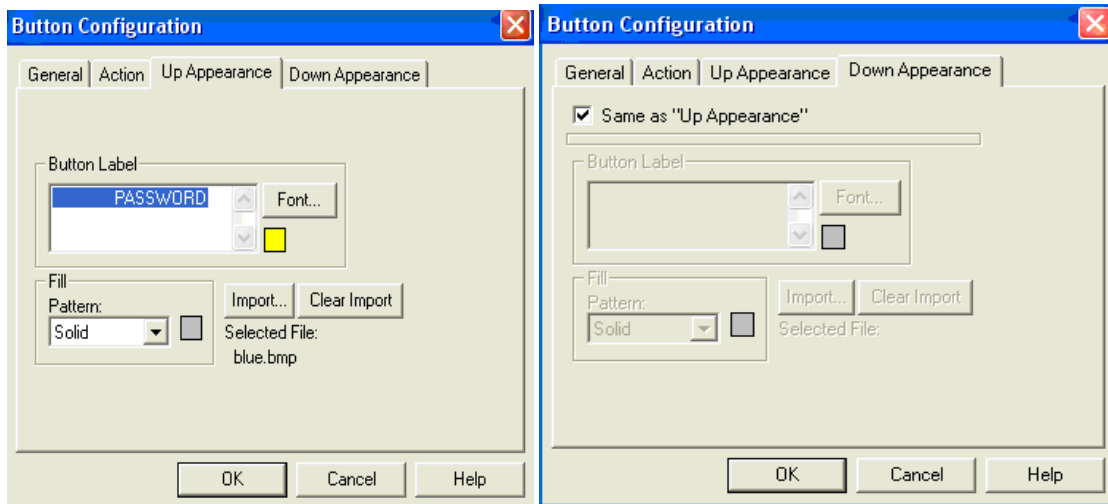


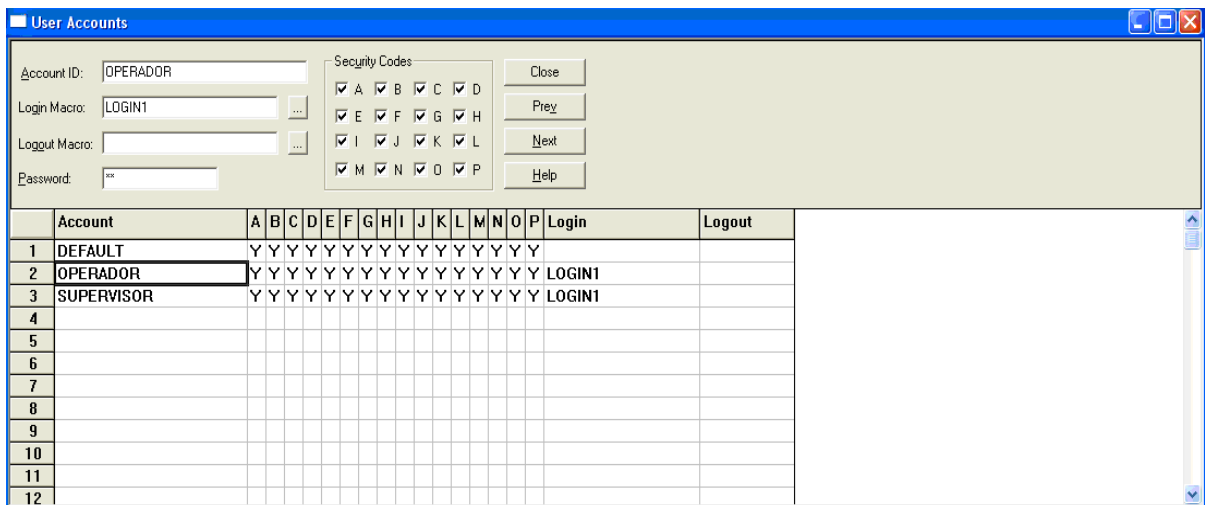
Fig. B.2 Configuración del Comando

3. Se introduce los parámetros de apariencia, y la etiqueta que va sobre el botón, al presionar y al dejar de presionar, las son las mismas. (Fig. B.3)



**Fig. B.3 Configuración de Apariencia**

4. En el icono System se escoge la opción USER ACCOUNTS, para ingresar los diferentes usuarios y se ingresa un macro para la restricción a pantallas o a la programación del sistema SCADA. (Fig. B.4)



**Fig. B.4 Configuración de Usuarios**

5. En el icono Lógica y Control se escoge la opción MACRO en donde esta da validación o la restricción a diferentes pantallas, esta es la seguridad del sistema. (Fig. B.5)

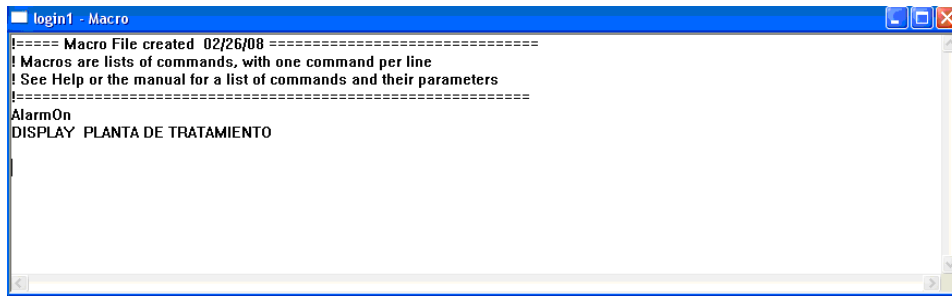


Fig. B.5 Configuración del MACRO

## B.2 .2 Visualización de Fecha y Hora

1. En la barra de herramientas de RSview32 se escoge STRING DISPLAY, en donde se ingresa el comando `system\Date` y `system\Time` para visualizar en todas las pantallas la hora y fecha. Fig. B.6

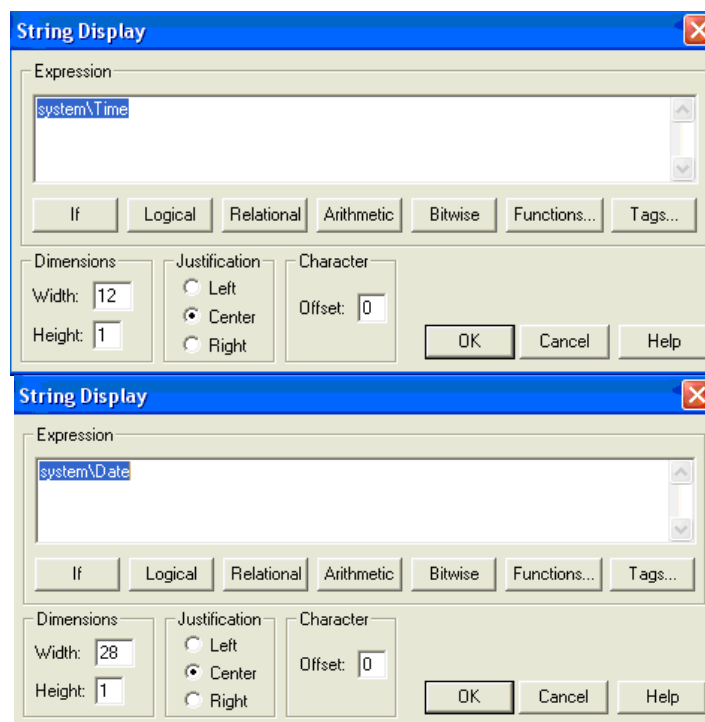
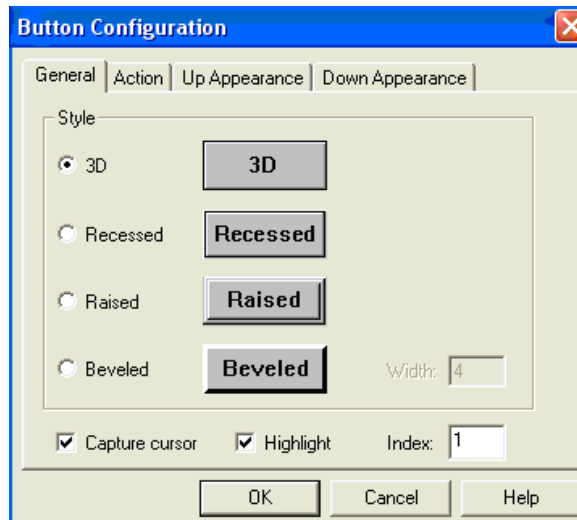


Fig. B.6 Visualización de Fecha y Hora

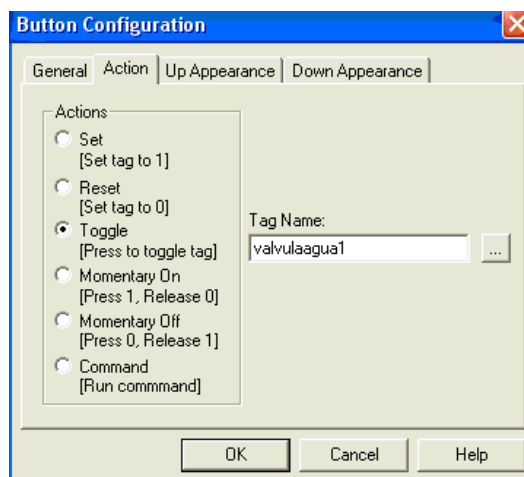
## B.2 .3 Activación de Electrovalvulas, Motores de Mezcla, Bombas Dosificadoras.

1. Se escoge los parámetros del botón, primero la forma del botón (Fig. B.7).



**Fig. B.7 Configuración Botón**

2. La acción del botón Toggle es usada porque tiene dos estados, luego se le da el tag para su ejecución. (Fig. B.8)



**Fig. B.8 Configuración de la Acción Toggle**

3. Se introduce los parámetros de apariencia, y la etiqueta que va sobre el botón. (Fig. B.9)



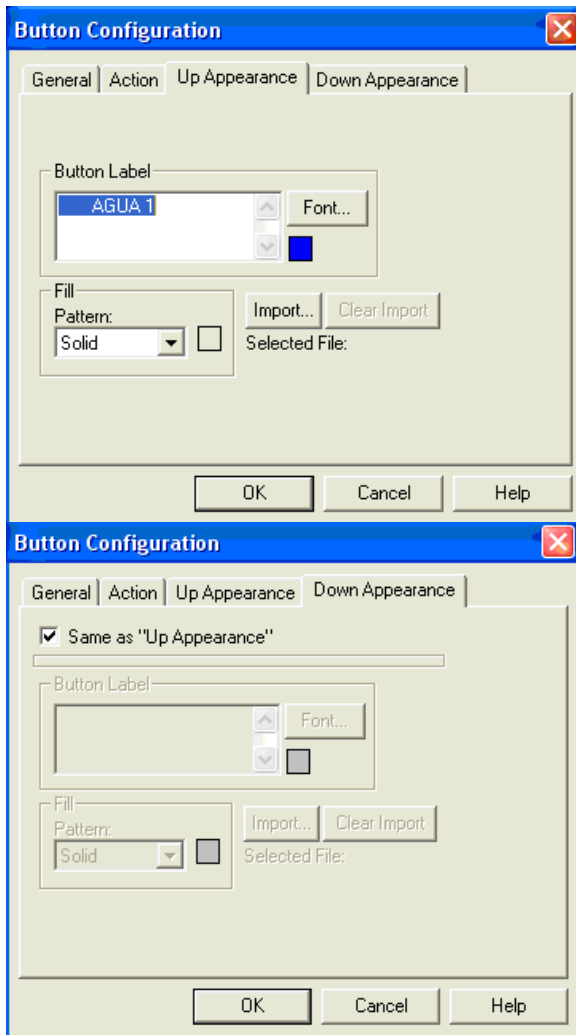
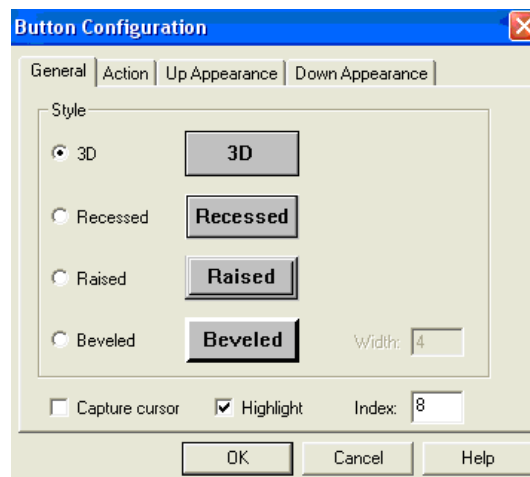


Fig. B.9 Configuración de Apariencia

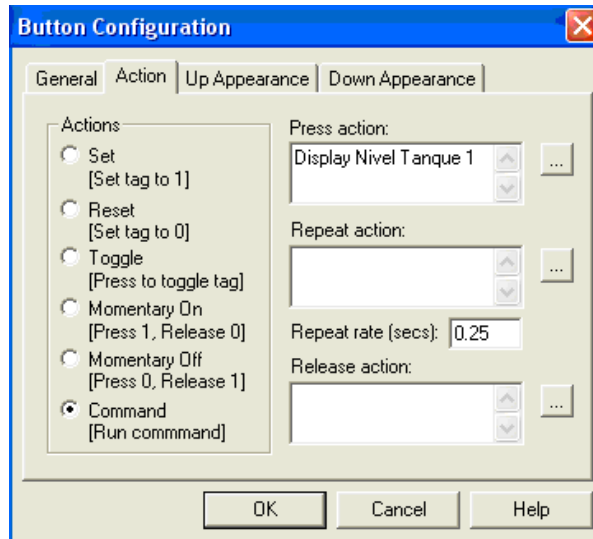
## B.2 .4 Despliegue del Pantallas

1. Se escoge los parámetros del botón, primero la forma del botón (Fig. B.10).



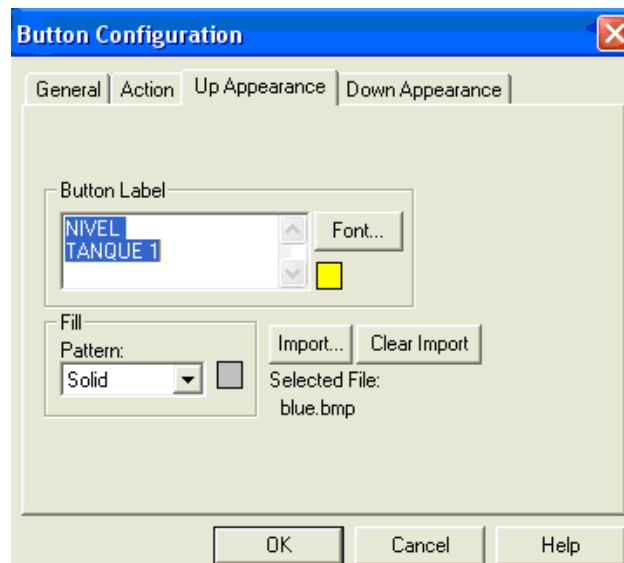
**Fig. B.10 Configuración del Botón**

2. La programación se ejecuta por medios de comandos, el cual es DISPLAY seguido por el nombre de la pantalla que voy ingresar. (Fig. B.11)



**Fig. B.11 Configuración del Comando**

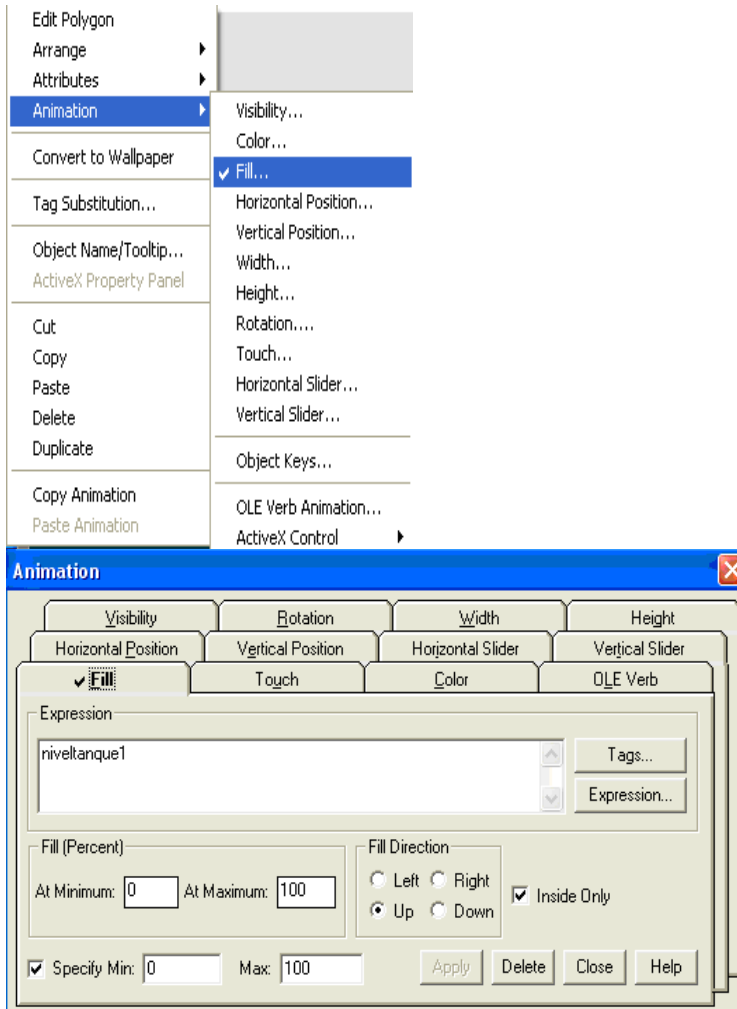
3. Se introduce los parámetros de apariencia, y la etiqueta que va sobre el botón.. (Fig. B.12)



**Fig. B.12 Configuración de la Apariencia**

## B.2 .5 Despliegue del Nivel de Tanques

1. Para la visualización del llenado de los tanques se le da una Animación y se escoge FILL y esta despliega otra ventana para ingresar el tag designado en nuestro caso de los sensores de nivel. Fig. B.13



**Fig. B. 13 Configuración de la Animación**

2. Al ingresar el tag, tengo la opción de realizar opciones de programación pero en nuestro caso solo estamos visualizando a la variable. Fig. B.14

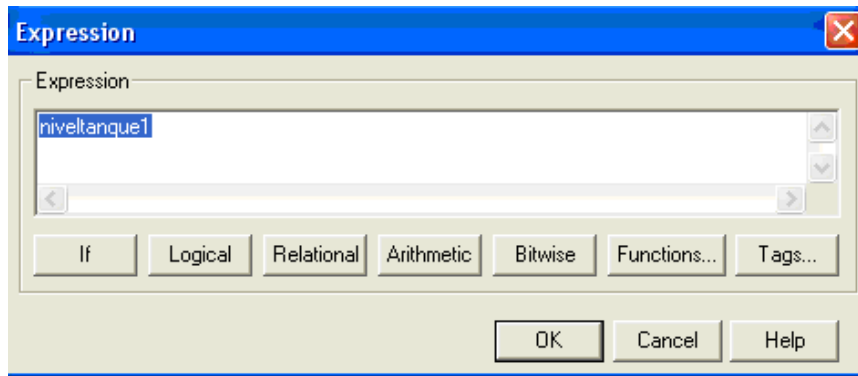


Fig. B. 14 Configuración del TAG

### B.2 .6 Visualización del Nivel de los Tanques

1. En la barra de herramientas de RSview32 se escoge NUMERIC DISPLAY, en donde se ingresa el tag del nivel del tanque para visualizar en la pantalla creada para la visualización de los valores del tanque 1 y tanque 2. Fig. B.15



Fig. B. 15 Visualización del Nivel de los Tanques

### B.2 .7 Visualización de Color

1. Para la visualización del color de los indicadores se le da una Animación y se escoge COLOR y esta despliega otra ventana para ingresar el tag designado en nuestro caso de los indicadores de manual, automático, encendido y apagado de bombas, Electroválvulas y motores de mezcla. Fig. B.16

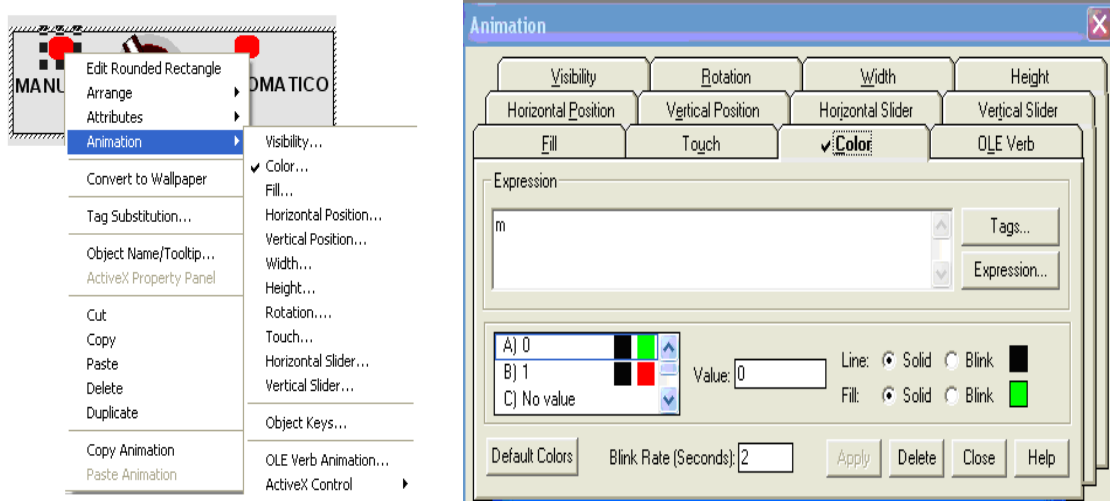


Fig. B. 16 Visualización del Nivel de los Tanques

## B.2 .8 Alarmas

1. En el icono System se escoge la opción TAG DATABASE, para ingresar tags y setear alarmas. (Fig. B.17)

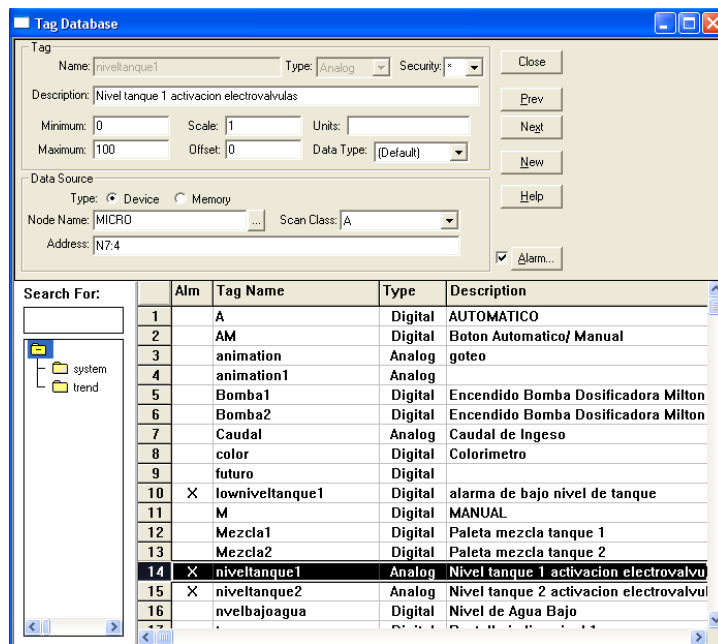
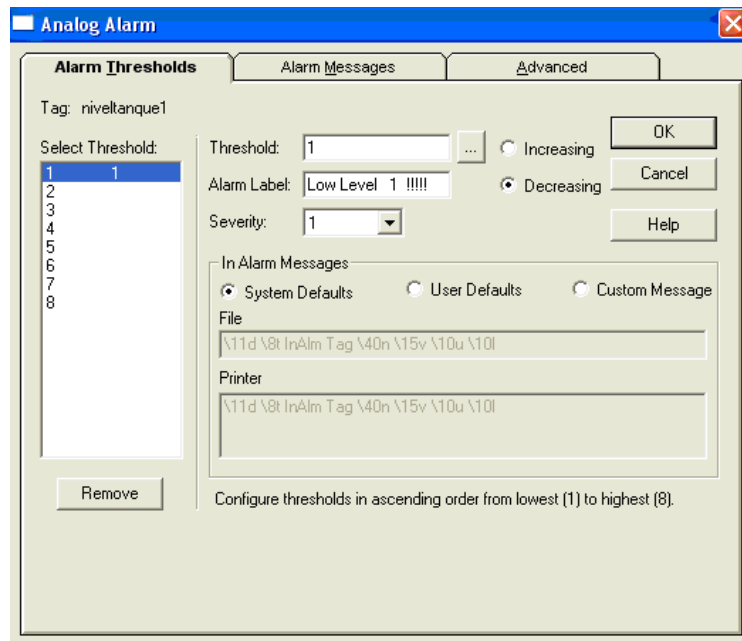


Fig. B. 17 Visualización del Nivel de los Tanques

2. Se escoge la opción ALARM y se ingresa los parámetros a los cuales va a indicar el valor de la Alarma. (Fig. B.18)



**Fig. B. 18 Configuración de Alarmas**

Latacunga, Abril del 2008

**ELABORADO POR:**

---

Dario Alejandro López López

---

Guido Enrique Sánchez Navarrete

**APROBADO POR:**

---

Ing. Armando Álvarez

COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
ESPECIALIDAD INSTRUMENTACIÓN

**CERTIFICADO POR:**

---

Dr. Eduardo Vásquez

SECRETARIO ACADÉMICO