

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Automática y Sistemas Computacionales**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

### **AUTOMATIZACIÓN DE PLANTA POTABILIZADORA “PALMARITO”**

**Autor: Javier Pérez Sosa**

**Tutores: M.Sc. Jorge J. Jacinto Alba.**

**Dr. Francisco Herrera Fernández.**

**Santa Clara**

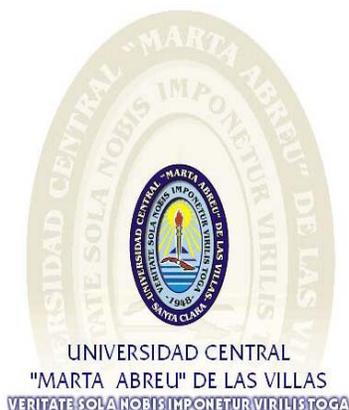
**2009**

**"Año del 50 Aniversario del Triunfo de La Revolución"**

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Automática y Sistemas Computacionales**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

### **AUTOMATIZACIÓN DE PLANTA POTABILIZADORA “PALMARITO”**

**Autor: Javier Pérez Sosa**  
E-mail: [jperez@uclv.edu.cu](mailto:jperez@uclv.edu.cu)

**Tutores: M.Sc. Jorge J. Jacinto Alba.**  
Director de Innovación y Desarrollo  
Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos VC  
E-Mail: [jjacinto@eiphvc.hidro.cu](mailto:jjacinto@eiphvc.hidro.cu)

**Dr. Francisco Herrera Fernandez.**  
Dpto. de Automática.  
Facultad de Ingeniería Eléctrica. UCLV.  
E-mail: [herrera@uclv.edu.cu](mailto:herrera@uclv.edu.cu)

**Santa Clara**

**2009**

**"Año del 50 Aniversario del Triunfo de La Revolución"**



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

#### Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

---

Firma del Autor

---

Firma del Jefe de Departamento  
donde se defiende el trabajo

---

Firma del Responsable de  
Información Científico-Técnica

## PENSAMIENTO

*Hay hombres que luchan un día*

*Y son buenos*

*Hay otros que luchan un año*

*Y son mejores*

*Hay quienes luchan muchos años*

*Y son muy buenos*

*Pero hay los que luchan toda la vida*

*Esos son los imprescindibles.*

*Bertolt Brecht.*

## DEDICATORIA

*A mis padres por haberme dado siempre amor, cariño, apoyo y ser la mejor escuela que he tenido en la vida,*

*A mis abuelos Ana y el Gallego que tanto se han esforzado para que alcanzara mi meta,*

*A mis abuelos Julio y Lucinda que aunque no están físicamente, si están en mi memoria,*

*A mi hermano que le sirva de ejemplo para su futuro,*

*A toda mi familia, por estar siempre presente,*

*Y a mis amigos que mucho me han apoyado.*

## AGRADECIMIENTOS

*A mis tutores Jacinto Alba y Francisco Herrera por guiarme siempre por el camino correcto,*

*A Jacinto Ramos y Cheo por su puntual ayuda,*

*A mi novia por su confianza,*

*A mis compañeros de aula por su aporte,*

*Y a los que de una forma u otra han tenido que ver en toda mi carrera*

*Gracias y éxitos a todos*

## TAREA TÉCNICA

Para la realización de este trabajo diploma se deben cumplir las siguientes tareas:

- Trabajo referativo del estado del arte de la automatización en plantas potabilizadoras.
- Familiarización con la planta potabilizadora “Palmarito”.
- Confección de los fundamentos para la tarea técnica de automatización de la planta.
- Estudio del Movicon y desarrollo de una aplicación.

---

Firma del Autor

---

Firma del Tutor

## **RESUMEN**

La planta potabilizadora de agua “Palmarito”, puesta en marcha en el año 2007 y ubicada en la ciudad de Santa Clara, proyectada por la EIPH VC con bajo nivel de automatización, todo su funcionamiento está basado en un accionamiento manual de los componentes eléctricos, cumpliendo un algoritmo tecnológico de elevada complejidad, lo cual se aborda en los términos, definiciones y descripción del proceso de potabilización de agua que se expone.

Se desarrolla un sistema de automatización basado en nuevas tecnologías, llegando a la implementación de un programa para el sistema de supervisión y control de toda la planta potabilizadora, se presenta una revisión del estado del arte en diferentes países y en nuestro país, se detalla sobre las características de las variables que intervienen en el proceso de la planta en cuestión y una aplicación en Movicon para la supervisión y control.

Como resultados se presenta el esquema funcional de automatización, acompañado de su aplicación, realizada en Movicon como herramienta de interfaz del sistema SCADA, que se valora de generalizable en los proyectos de plantas potabilizadoras similares.

## TABLA DE CONTENIDOS

|  |     |
|--|-----|
| PENSAMIENTO .....  | i   |
| DEDICATORIA .....  | ii  |
| AGRADECIMIENTOS .....  | iii |
| TAREA TÉCNICA .....  | iv  |
| RESUMEN .....  | v   |
| INTRODUCCIÓN .....   | 1   |
| CAPÍTULO 1. PLANTAS POTABILIZADORAS Y SU AUTOMATIZACIÓN .....              | 4   |
| 1.1    Generalidades sobre el proceso de tratamiento de agua potable. .... | 5   |
| 1.1.1    Coagulación-Floculación. ....                                     | 6   |
| 1.1.2    Sedimentación.....  | 7   |
| 1.1.3    Filtración.....   | 8   |
| 1.2    Principales partes de la planta.....                                | 11  |
| 1.2.1    Variables en el coagulador-floculador.....                        | 11  |
| 1.2.2    Variables en el sedimentador.....                                 | 12  |
| 1.2.3    Variables en el filtro.....                                       | 13  |
| 1.3    Estado del arte nivel mundial.....                                  | 13  |
| 1.3.1    Plantas altamente automatizadas.....                              | 14  |
| 1.3.2    Planta medianamente automatizada.....                             | 15  |

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1.3.3   | Plantas sin control automático.....                            | 16 |
| 1.4   | Estado del arte en Cuba.....                                   | 17 |
| 1.5   | Automatización de Palmarito.....                               | 18 |
| 1.6   | Conclusiones parciales.....                                    | 19 |
| CAPÍTULO 2. CONCEPCIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN..... |  | 20 |
| 2.1   | Particularidades Planta Potabilizadora Palmarito.....          | 20 |
| 2.1.1   | Coagulador - Flocculador y Sedimentador.....                   | 21 |
| 2.1.2   | Filtros rápidos a gravedad.....                                | 23 |
| 2.1.3   | Dosificación de productos químicos.....                        | 26 |
| 2.2   | Requisitos de Entrada-Salida.....                              | 26 |
| 2.3   | Características de los elementos de medición.....              | 29 |
| 2.3.1   | Sensor de nivel.....   | 29 |
| 2.3.2   | Sensor de turbidez.....  | 30 |
| 2.4   | Estrategia de Control.....                                     | 31 |
| 2.5   | Esquema funcional de automatización.....                       | 33 |
| 2.5.1   | Esquema funcional de automatización del flocculador.....       | 35 |
| 2.5.2   | Esquema funcional de automatización del sedimentador.....      | 38 |
| 2.5.3   | Esquema funcional de automatización del filtro.....            | 39 |
| 2.5.4   | Esquema funcional de automatización de la Sala de química..... | 41 |
| 2.5.5   | Características del SCADA implementar.....                     | 41 |
| 2.5.6   | Movicon.....   | 42 |
| 2.6   | Conclusiones parciales.....                                    | 44 |
| CAPÍTULO 3. ESTRUCTURA DEL SISTEMA SCADA.....             |  | 45 |
| 3.1   | Selección de la capa física del SCADA.....                     | 45 |

|                                      |   |    |
|--------------------------------------|---|----|
| 3.1.1                                | Selección de sensores.....  | 45 |
| 3.1.2                                | Dispositivos de regulación y mando.....                                   | 48 |
| 3.1.3                                | Características principales del PLC Master K-120K.....                    | 49 |
| 3.1.4                                | Interfases de comunicación Ethernet.....                                  | 52 |
| 3.2                                  | Estructura general del sistema supervisor diseñado.....                   | 55 |
| 3.3                                  | Análisis Económico.....   | 57 |
| 3.4                                  | Conclusiones parciales.....   | 59 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... |   | 60 |
| Conclusiones.....                    |   | 60 |
| Recomendaciones .....                |   | 61 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....       |   | 62 |
| ANEXOS .....                         |   | 64 |
| Anexo I                              | Diagrama en bloque de programación del PLC de bloque de los Filtros ..... | 64 |
| Anexo II                             | Diagrama de flujo de procesos.....  | 66 |

## INTRODUCCIÓN

La planta potabilizadora de agua “Palmarito”, puesta en marcha en el año 2007 y ubicada en la ciudad de Santa Clara, proyectada por la EIPH VC con bajo nivel de automatización; todo su funcionamiento está basado en un accionamiento manual de los componentes eléctricos, cumpliendo un algoritmo tecnológico de elevada complejidad. Siendo objetivo proponer un sistema de automatización de dicha planta.

En nuestro país se ejecuta un particular esfuerzo en la rehabilitación de redes hidráulicas, en el discurso pronunciado por Raúl Castro el 26 de julio de 2008 en Santiago de Cuba se plantea “Una previsión que nos agradecerán todos, en particular las futuras generaciones, esas que les tocará vivir en un mundo donde el agua potable será un recurso cada vez más escaso y caro. Por ello, no pocos pronostican que las guerras del mañana serán motivadas por la conquista de las reservas de este insustituible recurso natural. Ya en la actualidad se libran las guerras por el petróleo”. (Castro, 2008) además de este significado estratégico, los sistemas de abasto de agua constituyen uno de los principales consumidores de energía de nuestro país; nuevos proyectos son implementados en todas las provincias por un amplio programa que lleva a cabo el desarrollo de las redes de abasto de agua a todas las ciudades y la potabilización de esta.

Aunque, a pesar de existir plantas potabilizadoras y de construirse nuevas en el programa de mejora de abasto de agua potable, el sistema adolece de un funcionamiento automatizado que garantice la eficiencia del mismo, todo lo anterior en gran parte está relacionado por el mal funcionamiento y operación de dichas plantas, solo el hecho de lograr una buena operación de la planta y mejorar la calidad del agua que se entrega significa un aporte social y humano de alto valor. En aras de trabajar sobre estos problemas se han unido entidades como La Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos V.C.

[EIPHVC] y La Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas para en trabajo conjunto investigar e innovar en los proyectos de remodelación de las instalaciones existentes y las nuevas inversiones, las cuales puede obtener un mejor rendimiento con un sistema automático y así brindar un servicio a nuestra población de mayor calidad.

La provincia de Villa Clara en particular La Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos tiene un papel fundamental en estos planes, con acciones concretas de proyecto en:

- Plantas potabilizadoras:
  - Palmarito, Santa Clara.
  - Quintero 1 y 2, Santiago de Cuba.
  - Macaguabo, Sancti Spíritus.
  - Papelera, Jatibonico.
  - Manicaragua, Villa Clara.
  - Guamá, Matanzas.

Las plantas potabilizadoras presentan un sistema de operación interesante desde el punto de vista de su automatización, siendo los controles de flujo y nivel los básicos y deben operar en sincronismo para garantizar una adecuada calidad en el procesamiento de las aguas que se tratan. Hoy en día la planta “Palmarito” no posee un sistema de automatización que permita elevar la calidad del flujo tecnológico más allá de lo posible a lograr mediante la operación manual en lo referente a comandos y secuencias de operación.

Las plantas potabilizadoras constituyen un elemento clave en todo sistema de abasto de agua a la población. Hoy día nuevas tecnologías son aplicadas y con ello ampliaciones y necesarias modificaciones tecnológicas que se llevan a cabo en la remodelación de ellas así como en las nuevas inversiones. La automatización integral de estas plantas es un problema a resolver y contribuirá en todos los casos a:

- Cumplimiento de la disciplina tecnológica de operación.
- Mayor calidad en el producto: Agua a la población.
- Ahorro energético y de materiales.

Se trabaja en esta tesis en la concepción de un sistema de automatización para el caso real de la planta potabilizadora “Palmarito” que garantice un adecuado tratamiento. Se parte de un proyecto e instrumentación existente en la planta (sensores, actuadores y válvulas eléctricas, etc).

Definiendo como el principal objetivo de este trabajo:

Obtener un proyecto de automatización de la planta potabilizadora “Palmarito”.

Y como objetivos específicos:

- Realizar un estudio del estado del arte de la automatización de plantas potabilizadoras de agua.
- Obtener una relación de las variables que actúan en el proceso de potabilización de agua y como interactúan en el sistema de control.
- Proponer el hardware y software necesario para la automatización.
- Diseñar una interfaz amigable para una mejor comprensión de los datos mostrados.
- Transferir la tecnológica de supervisión y control del proceso, con la ayuda del Movicon (software para el diseño de sistemas SCADA), de vital importancia para la empresa de proyectos en vista de ser aplicado en los nuevos diseños.

### **Organización del informe**

El presente trabajo de diploma constará de tres capítulos: **Plantas Potabilizadoras y su Automatización** donde se abordarán temas tales como: Aspectos teóricos sobre el proceso de tratamiento de agua, características de las unidades de una planta, estado del arte de la automatización en plantas potabilizadoras; **Concepción del sistema de Automatización** donde se hablará de las características de la planta potabilizadora “Palmarito”, variables que se definen y estrategias de control a seguir y el Movicon como herramienta para la supervisión y el control; **Estructura del sistema SCADA** donde se realizará un análisis de los resultados obtenidos en el trabajo y se discutirá su importancia económica. Luego de estos capítulos estarán las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

## **CAPÍTULO 1. PLANTAS POTABILIZADORAS Y SU AUTOMATIZACIÓN**

Las plantas de tratamiento de agua potable se definen como un conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.

Estas plantas se encuentran ubicadas en los sistemas de abasto de las ciudades y poblados. Su funcionamiento eficiente permite mantener una elevada calidad del agua que se entrega, evitando con ello la posibilidad de provocar enfermedades en la población por infecciones de la misma.

Para mejorar considerablemente la eficiencia en el trabajo de la potabilizadora, así como el control sobre los recursos destinados a ella, se hace necesaria la implantación de un sistema de automatización que incluya todos los subsistemas necesarios de control automático y que se responsabilice de las principales operaciones de la planta.

Debido a los avances de la tecnología, que ha posibilitado el manejo de variables como la turbidez, nivel, flujo y el estado de operación de las válvulas y bombas, surgen nuevas oportunidades de mejorar el compromiso entre la eficiencia de operación y la actuación del mecanismo de control en las plantas potabilizadoras.

En este capítulo, como objetivo, se persigue mostrar las principales definiciones y conceptos del proceso de potabilización del agua y obtener un estudio del estado del arte de los sistemas de automatización de una planta potabilizadora de agua y además analizar las principales variables que se tratan.

## 1.1 Generalidades sobre el proceso de tratamiento de agua potable.

En las plantas de tratamiento de agua potable se pueden desarrollar diferentes tecnologías para llegar a un mismo objetivo, pero básicamente siguen una estructura donde los principales procesos que se efectúan en la misma, a saber (Degrémont, 1979) :

- Coagulación.
- Floculación.
- Sedimentación.
- Filtración.
- Cloración.

Constituyendo todos estos procesos el ciclo fundamental del agua a tratar como se muestra en la Figura. 1.1.

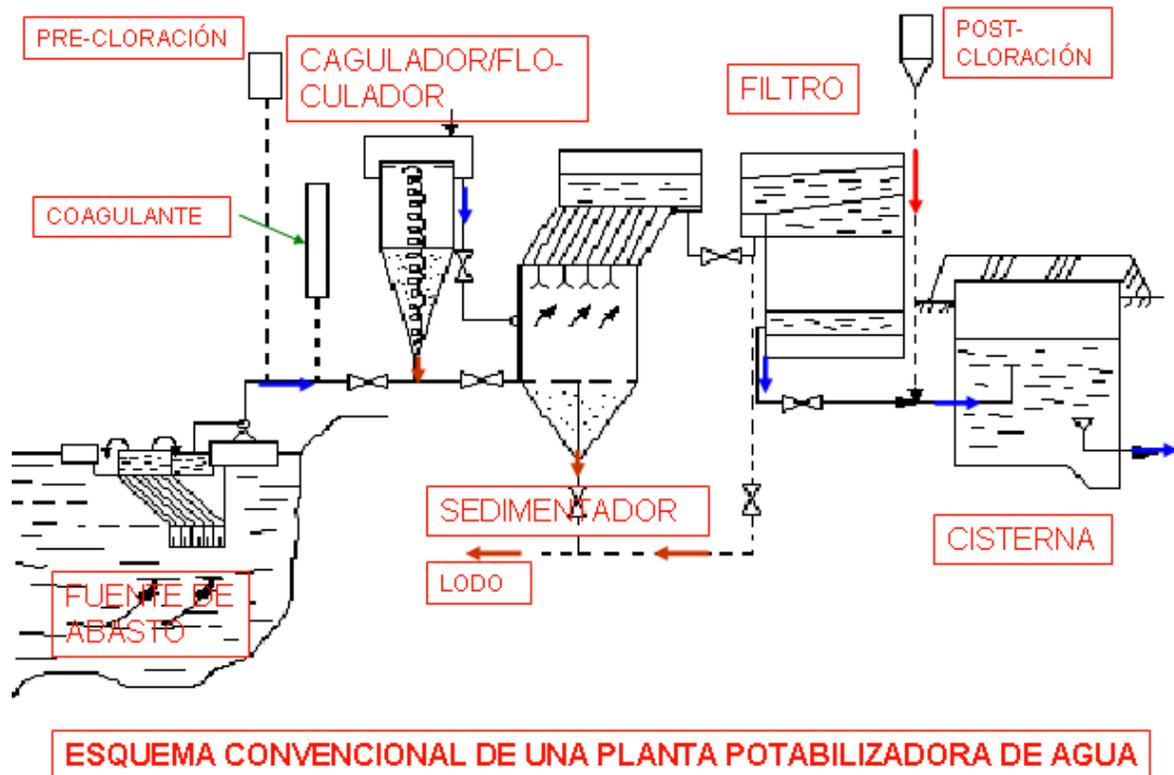


Figura 1. 1 Esquema de una planta potabilizadora.

### 1.1.1 Coagulación-Floculación.

La pequeña dimensión de las partículas coloidales presentes en el agua, así como la existencia de cargas negativas repartidas en su superficie, dan lugar a una gran estabilidad de las suspensiones coloidales.

En el campo del tratamiento de agua, la coagulación es, por definición, el fenómeno de desestabilización de las partículas coloidales, que pueden conseguirse especialmente por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas. Se llama coagulante al producto utilizado para esta neutralización.(Rivera, 2007)

La agrupación de las partículas descargadas, al ponerse en contacto unas con otras, constituye la floculación, que da lugar a la formación de flóculos capaces de ser retenidos en una fase posterior del tratamiento del agua. Algunos productos pueden favorecer la formación de flóculos; a estos se les llama floculantes.(Solís, 2007)

La separación sólido-líquido, del flóculo formado y del agua, puede hacerse por filtración, por decantación o flotación, seguidas o no de la filtración.

“La coagulación y la floculación intervienen generalmente en el tratamiento de aguas destinadas al abastecimiento público y en la preparación de aguas industriales de fabricación. Con estos procedimientos se consigue la neutralización de los coloides del agua y su absorción en la superficie de los precipitados formados en el proceso de floculación. También pueden absorberse sobre el flóculo ciertas sustancias disueltas (materia orgánica, contaminantes diversos, etc.).” (Rivera, 2007)

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 absorción y la precipitación de compuestos en solución.”(Cifuentes, 2007)

El proceso de coagulación se caracteriza por la alteración físico-química de partículas coloidales del agua, color y turbidez, produciendo su aglomeración en partículas sedimentables.

El proceso completo se desarrolla en dos fases:

- Coagulación que comprende la adición de reactivos químicos con la finalidad de desestabilizar los coloides en suspensión.
- 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.”(Cifuentes, 2007)

Los coagulantes usuales incluyen sales de aluminio o de hierro, siendo el coagulante más utilizado el sulfato de aluminio.

En aplicaciones específicas es común la adición de polímeros y en menor grado sílice activada y bentonita, como auxiliares de coagulación (floculantes).

### **1.1.2 Sedimentación.**

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

Si el material en suspensión se asienta rápidamente, formándose una interfase sólido-líquido, se considera que el líquido contiene material silíceo de tamaño reducido pero de masa específica elevada, que es la que produce ese fenómeno.

Se denominan partículas discretas, a las partículas aisladas que no cambian de densidad, tamaño o forma al descender en el líquido, no habiendo interferencia entre las mismas durante el proceso. Generalmente las partículas discretas que sedimentan en ese corto tiempo, tienen un tamaño cercano a 0,01 mm y una masa específica aproximada de 2650 kg/m<sup>3</sup>, similar a la de la arena.”(Cifuentes, 2007)

La materia inorgánica con tamaño mayor a 0,02 mm por lo general puede ser removida por sedimentación natural, sin el uso de coagulantes químicos.

Los tanques de sedimentación pueden tener forma rectangular, cuadrada o circular. En zonas donde no se tenga certeza de contar con personal capacitado para las tareas de

operación y mantenimiento se recomienda el uso de tanques rectangulares de flujo horizontal, operados en forma continua.

El tiempo de retención 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).

Es conveniente determinar en cada caso la velocidad de sedimentación utilizando una columna de sedimentación.

“Los sólidos o partículas son considerados como aglomerables o floculentos cuando al descender en la masa líquida, se adhieren o aglutinan, cambiando de tamaño, forma y peso específico durante la caída, formando flóculos con una velocidad de sedimentación mayor que las partículas inicialmente consideradas.”(Degrémont, 1979)

El proceso de sedimentación se realiza en unidades denominadas en general sedimentadores.

Las unidades donde se sedimentan las partículas flocúlenas se denominan indistintamente sedimentadores o decantadores. Algunos autores utilizan sólo el nombre de decantadores para el caso de sedimentación de partículas flocúlenas, indicando al proceso como “decantación”.

### **1.1.3 Filtración.**

La filtración es un proceso de purificación en el cual se separan las partículas y microorganismos, que no han quedado retenidos en los procesos previos de tratamiento.

Los filtros son los equipos más importantes de la planta potabilizadora y de su buen funcionamiento depende en gran medida la calidad del agua.

Es un fenómeno que varía con el tiempo y que es limitado, ya que al cabo de un cierto tiempo el filtro queda fuera de servicio, debido a la insuficiencia de caudal o al deterioro de la calidad del agua filtrada.

La filtración como proceso químico se basa en la ecuación de Hagen-Poiseuille que plantea:

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{\mu \left( \frac{\alpha \omega V}{A + r} \right)} \quad 1.1$$

Donde:

V: Volumen de agua a filtrar.

$\theta$ : Tiempo de filtración.

A: Área del filtro.

P: Presión total en el filtro.

$\omega$ : Peso de sólidos disueltos/unidad de volumen filtrado.

$\mu$ : Viscosidad dinámica o absoluta de la sustancia filtrada.

$\alpha$ : Resistencia específica del lecho.

r: Resistencia de la sustancia filtrada a través del sistema de desagüe.

Existen una serie de factores, entre parámetros y variables del proceso, que intervienen en la filtración como: tipo de medio filtrante; velocidad de filtración; características físicas (volumen, densidad, tamaño) como se muestra en la figura 1.2 además de químicas (PH, potencial zeta); temperatura, etcétera.

Existen varias normas para clasificar los filtros.(González, 2001)

- Según la carga superficial aplicada
  - Baja carga (filtros lentos).
  - Alta carga (filtros rápidos).
- Según el medio filtrante
  - Medios porosos (pastas arcillosas, papel filtro).
  - Medios granulares (arena, antracita, granate o mixtos).
- Según el sentido del flujo
  - Ascendente (de abajo hacia arriba).
  - Descendente (de arriba hacia abajo).
  - Mixto (parte ascendente y parte descendente).
- Según la carga sobre el lecho.

Por gravedad y a presión.

“A medida que los poros de la arena se van ensuciando, la pérdida de carga va aumentando hasta que llega a su máximo valor, el cual está limitado por la carga disponible en la instalación, dada por la altura de agua sobre la instalación, y por la altura de agua sobre la arena del filtro que normalmente varía entre metros”.(Fernández, 1997)

El sistema de drenaje tiene dos objetivos: (Johnson, 2002)

- Recolectar y extraer el agua filtrada.
- Distribuir uniformemente el agua de lavado en el lecho filtrante.

El tiempo de duración de este proceso (conocido como carrera de filtración) es el tiempo de trabajo del filtro entre lavado y lavado y puede oscilar entre 12 h y varios días, considerándose generalmente como aceptable el valor de un día como típico o promedio en muchas plantas. La calidad del agua filtrada y la longitud de las carreras de filtración obtenidas, depende mucho del tamaño de los granos de arena.

“El lavado del filtro es la operación por la cual se suspende el proceso de filtración y se inyecta agua por la parte de abajo del filtro (drenes) con presión adecuada, con el objetivo de que el lecho filtrante se expanda, los granos se froten y se desprenda todo el material que ha quedado entre ellos en la operación de filtrado.”(Johnson, 2002)

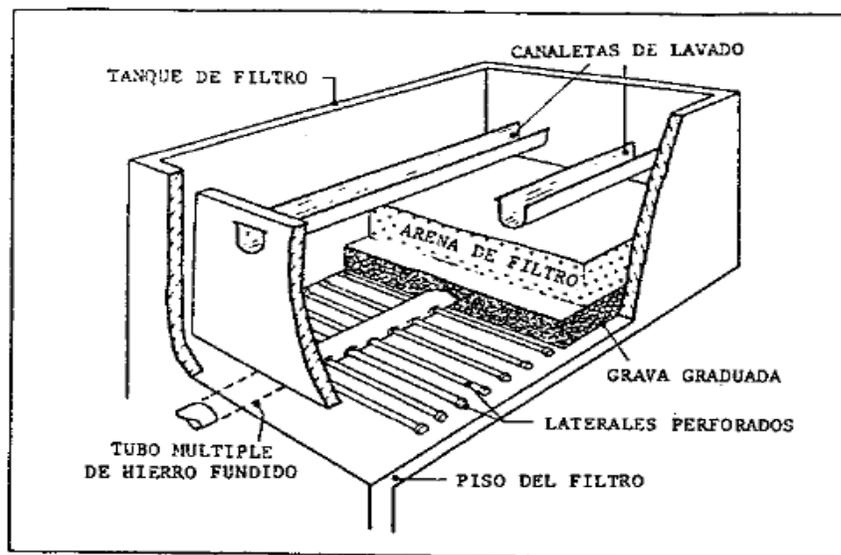


Figura 1. 2 Esquema de un filtro

## 1.2 Principales partes de la planta.

Como ya se vio en el epígrafe anterior, las operaciones en el proceso de potabilización, tienen sus peculiaridades y con ello diferentes características para proponerles una correcta automatización, y hacer un análisis exhaustivo de cada una de las variables a tratar.

### 1.2.1 Variables en el coagulador-floculador

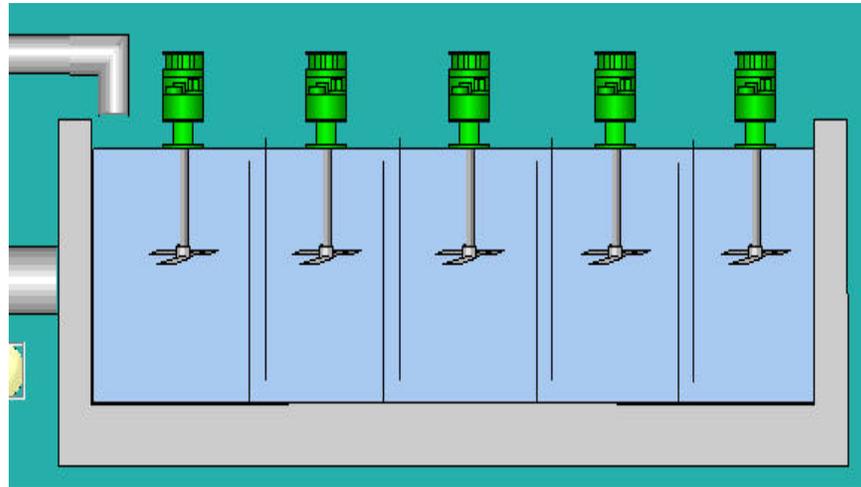
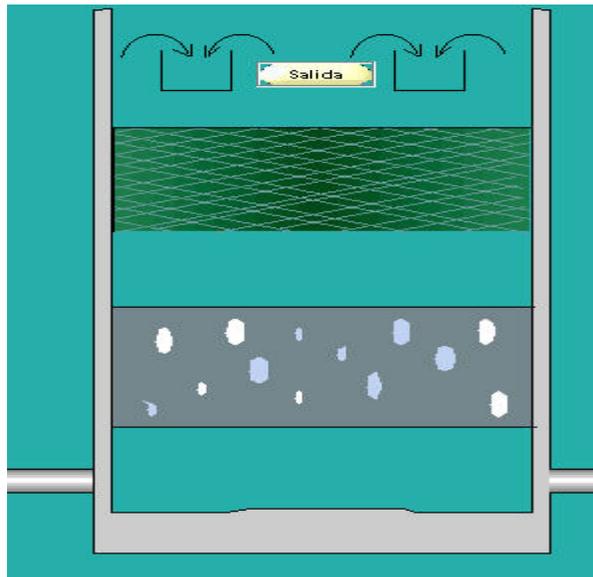


Figura 1. 3 Coagulador-Floculador

Esta parte de la planta esta caracterizada como se ve la figura 1.3 por ser donde primero entra el agua cruda proveniente del embalse, y gran parte de la suciedad que trae consigo es conveniente dejarla aquí para no perder luego agua ya tratada en el proceso de lavado de los filtros. Para lograr este trabajo se hace imprescindible tener conocimiento de la turbidez con que esta entrando esa agua cruda, además de la cantidad de liquido que se esta tratando. Para esto se manejan señales de mando sobre una serie de motores con paletas pertenecientes a la sección de mezcla rápida y lenta respectivamente que entraran en funcionamiento en el momento en punto que se comience a bombear sulfato de alumina para reducir la turbidez.

Para una mayor seguridad se hace necesario también tener conocimiento del nivel en todo el tanque.

### 1.2.2 Variables en el sedimentador.

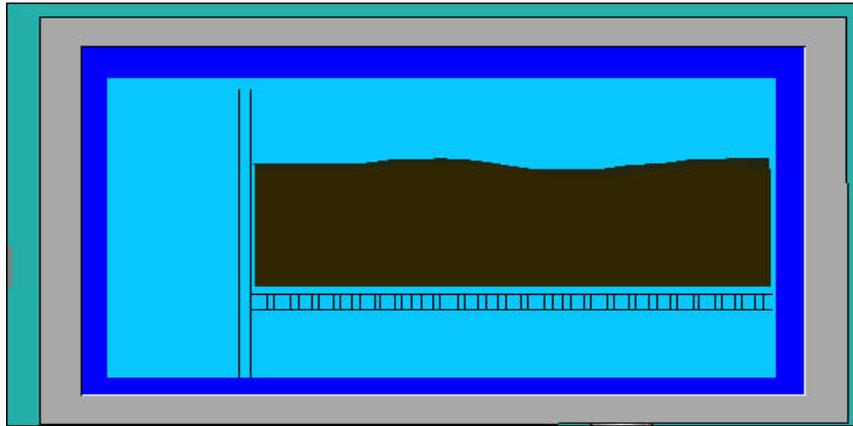


**Figura 1. 4 Sedimentador**

Esta área de la planta como se observa en la Figura.1.4, está caracterizada por darle continuidad al proceso de floculación en la eliminación de la turbidez. Se manejan muy pocas variables, fundamental se hace tener conocimiento de la turbidez, que determinará el nivel de suciedad que se va acumulando en el sedimentador, determinando cuando hay que purgarlo para mejorar su funcionamiento.

Se hace también importante tener conocimiento en todo momento del estado en que se encuentra el nivel, con ello evitar un posible desbordamiento provocando pérdidas de agua, tiempo y dinero.

### 1.2.3 Variables en el filtro.



**Figura 1. 5 Filtros**

Esta área tecnológica presenta como característica fundamental, ser el último eslabón donde se eliminan los sólidos suspendidos y bacterias que lograron pasar de tratamientos anteriores, como se muestra en la Figura. 1.5 siendo de las más complejas que presenta una estación de tratamiento de agua, en ella se necesita monitorear constantemente el nivel, ya que de él dependen el estado de trabajo del filtro, determinando la toma de acción sobre las distintas válvulas y ejercer el control sobre todas las bombas que están sujetas a entrar en acción en dependencia siempre del nivel.

### 1.3 Estado del arte nivel mundial.

En estos momentos se nota una división en cuanto al nivel de automatización existente, a nivel global se enmarcan en tres grandes grupos:

1. Las plantas totalmente automatizadas.
2. Las plantas parcialmente automatizadas.
3. Las plantas sin automatización.

Estos niveles están en dependencia de la empresa inversionista que lleva a cabo el diseño de la obra y del nivel de recursos con que cuentan para lograr un alto nivel de automatización.

### 1.3.1 Plantas altamente automatizadas.

Dentro de las plantas con alto nivel de automatización se notan como están inmiscuidas grandes empresas dentro del proyecto. Por lo general estas plantas se encuentran equipadas de una buena red de comunicación, un gran número de P.L.C.'s que atienden un número considerable de entradas y salidas.

Existen diversas firmas que se especializan en el tratamiento de aguas potables, entre las que más se destacan se encuentra, Degrémont, empresa francesa fundada en 1939 en París, que se ha especializado en las plantas de tratamiento de agua a nivel mundial. Entre los principales países donde se encuentra su rama de acción están Brasil, México, España y Argentina entre otros, siendo este último donde se encuentra una de las más avanzadas plantas de tratamiento.

A modo de ejemplo se describen las principales características de esta planta de tratamiento de agua argentina en “AGUAS PROVINCIALES DE SANTA FE” (ROSARIO Provincia. de Santa Fe)

Obra de la planta potabilizadora, automatizada con tres P.L.C.'s modelo y marcas TELEMECANIQUE:

- Línea PL7-3,
- Modelos TSX-47/455,

Conectado en modo link entre ellos y cinco P.L.C.'s TELEMECANIQUE

- TSX-17/20

Interconectados en red, vía Unitelway, correspondientes a cada filtro, con lazos P.I.D., existiendo lazos de control independientes en cada uno de ellos, entradas y salidas analógicas, comunicación y software de supervisión en PC's.(Solumanasrl, 2007)

La totalidad de la obra comprendía tres partes principales a saber según (Solumanasrl, 2007):

Sección “Módulo”: Edificio principal, con su sala de control, tablero de comando, computadora conectada con el sistema SCADA y comando centralizado de los filtros “Regulazur”.

Sección “Reactivos”: Edificio correspondiente al control de la inyección de agentes químicos potabilizadores.

Cuenta con un segundo tablero de control con P.L.C., interconectado por red “Fipway” y monitoreado por un sistema SCADA de similares características al anterior.

Sección “Cloro y Cal”: Edificio correspondiente al control y dosificación de los mismos. Cuenta con un tercer tablero de control con P.L.C. similar al anterior, interconectado por red “Fipway” sin monitoreo de sistema SCADA.(Solumanasrl, 2007).

### **1.3.2 Planta medianamente automatizada.**

En estas plantas el tratamiento por lo general se enfatiza en una a red de comunicación del tipo Ethernet, aprovechando su uso como una red de datos también, que es vital para el buen funcionamiento, el uso de los PLC`s es mas racional utilizándolos en los lugares donde se hace mas difícil el trabajo del hombre, este tipo de plantas son de las que mas abundan en todo el mundo.

Una empresa internacional para agua potable y de tratamiento de efluentes, Bamag GmbH, fue el principal contratista para la construcción de una planta de tratamiento de aguas de la Organización Nacional de Agua Potable en Egipto, un proyecto de tres plantas de agua potable con una capacidad de 800 litros por segundo.

“El sistema de automatización instalado consta de PLC con funciones automáticas y manuales. Algunas de las principales funciones de automatización que comprende son: control manual desde la sala de control, monitoreo del estado de las acciones de control, monitoreo mediante diagrama de mímicos del estado de operación en toda la planta. Cada parte de la planta de (la bomba de agua cruda, agua tratada, sistema de filtración de la bomba de sumidero, y la cloración del sistema de dosificación química) está equipado con un PLC CX1000 que controla todas las funciones.”(PC-Control, 2005)

El sistema de filtro cuenta con 10 unidades, cada uno provisto de su propia autonomía de PLC (CX1000 con interfaz PROFIBUS) que controla el filtro, tanto en modo automático y en modo manual. El PLC CX1000 accede a la red a través de PROFIBUS con un maestro de PLC que controla el proceso de retrolavado según las necesidades individuales del filtro. Debido a la naturaleza de la planta y de la estrecha interacción entre los acontecimientos

que tienen lugar en diferentes partes de esta, los datos tienen que ser transferidos desde su origen a donde se les necesite.(PC-Control, 2005)

“Controladores PID se utilizan en toda la planta para el nivel, la presión y el control de flujo. La integración de los controladores PID en el sistema Beckhoff ha demostrado ser altamente eficaz. Todo el sistema montado sobre una red Ethernet con una velocidad de transferencia de 100 MBaudios este alcanza un tiempo de respuesta de menos de 10 milisegundos, que garantiza un alto grado de integridad. El tradicional centro de diagrama mímicos fue sustituido con una gran pantalla de plasma que proporciona en tiempo real, visualización dinámica de la planta central”(PC-Control, 2005).

### **1.3.3 Plantas sin control automático.**

En los países más pobres las plantas que proliferan tienen un bajo nivel de automatización, llegando sólo a presentar un nivel de información de los estados de las distintas variables y muy poco uso de las redes de comunicación y todos los procesos tratados aisladamente, se tratarán varios ejemplos de la existencia de este tipo de planta.

En todos estos tipos de planta, como está en México que cuenta generalmente con un cuarto de control desde donde se hace un monitoreo y control de la calidad del agua en la entrada y a la salida. A la entrada se mide turbidez y pH, mientras que a la salida se mide y controla la turbidez, pH, cloro y flujo. En la planta indicada para el control de la calidad del agua se cuenta con un sistema de dosificación basado en variadores Micromaster 440 de Siemens.(Adesoft, 1995)

Para la planta también se tiene un proceso de cloración, que trabaja mediante un PLC Mitsubishi, al cual le llegan las señales del sistema de detección y alarmas de fugas de gas y la señal del sistema de pesaje de cloro. El PLC Mitsubishi no está enlazado al sistema de control distribuido.(Adesoft, 1995)

En la salida de la planta La Rivera se cuenta con dos macromedidores de flujo ultrasónico que totaliza el agua que es bombeada desde la estación de bombeo. La estación de bombeo cuenta con un PLC Modicon, TSX Micro, y una pantalla dactil XBT P012010 de Telemecanique, los cuales tampoco están enlazados al sistema de control distribuido. (Aguas, 2007)

El protocolo de comunicación que se emplea en La Rivera es MODBUS entre los nodos. A la estación de control, ubicada en Ingeniería, llega a través de puerto serial. En la estación se hace la supervisión y control mediante el software Intouch, versión 8, de Wonderware para 64 rótulos (Tags).

#### 1.4 Estado del arte en Cuba.

La cobertura de acceso al agua potable en Cuba durante el año 2008 fue de 95,6%, correspondiendo 97,3 al área urbana y 98,2 a la rural. Los recursos hídricos disponibles en el país, así como la utilización por sectores se muestran en la figura 1.6. En la tabla 1.1 se muestra la distribución de plantas potabilizadoras por provincias. y se demuestra que la eficiencia de las plantas no es buena, y como tecnología predominan los filtros de arena de diferentes tipos.(Menéndez, 2007)

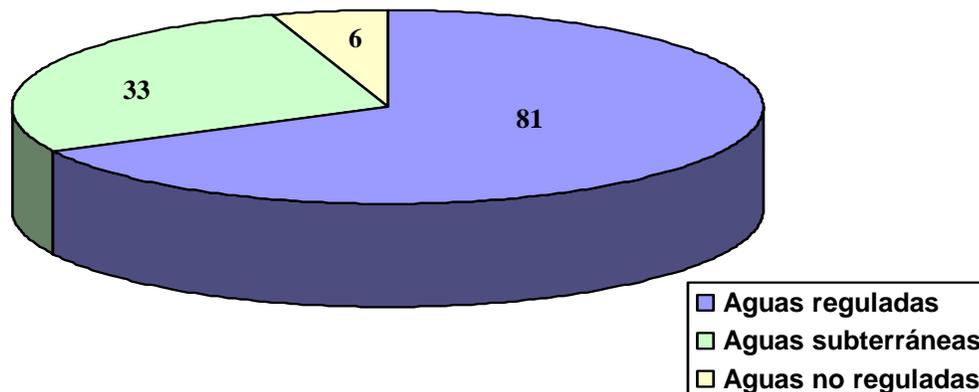


Figura 1. 6 Distribución de aguas potables

Tabla 1. 1 Distribución de plantas potabilizadoras

| <i>Plantas potabilizadoras por provincias</i> |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |      |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|
| Provincias                                    | PR | LH | CH | CF | VC | SS | CA | CM | LT | HG | GR | SC | GT | CUBA |
| Plantas Potabilizadoras                       | 10 | 5  | 1  | 6  | 3  | 4  | 1  | 5  | 5  | 5  | 5  | 6  | 1  | 57   |
| Eficientes                                    | 6  | 5  | 1  | 4  | 1  | 2  | 1  | 1  | 5  | 5  | 1  | 5  | 1  | 38   |

La mayoría de estas plantas fueron construidas en la década del 80, con el nivel de automatización existente por aquellos tiempos y no se les ha venido dando una continuidad en el desarrollo tecnológico, por lo que se hace evidente que en nuestros días estas plantas ya tienen mas de 20 años de explotación y su eficiencia no es la mejor y el nivel tecnológico que presentan es arcaico.

En las potabilizadoras cubanas, la automatización en las más avanzadas llega a niveles muy bajos como la información del estados del nivel en los filtros a través de una señal digital on/off, el estado de las bombas, dígame si están encendidas o apagadas, pero no se toma ninguna acción sobre estas señales que se procesan, dejando todo este trabajo al operador.

### **1.5 Automatización de Palmarito.**

La planta potabilizadora “Palmarito” que se construyó con la finalidad de tratar las aguas provenientes del embalse “Palmarito” con destino al abasto social de la ciudad de Santa Clara, ubicada en un lateral de la Autopista Nacional en la entrada Suroeste de la ciudad por esa vía.

La planta trabajará de forma manual desde un panel de mando y control central excepto para la extracción de lodos de los sedimentadores donde se contempla el control automático de la altura de lodo (este control se realiza mediante la regulación del tiempo de apertura de la válvula de extracción de lodos por rele temporizador), además en dicho panel se registrará el gasto instantáneo e integrado y existirá un sistema automático controlado por señales de nivel, mediante electrodos, que gobernará los motores de las electroválvulas de los filtros para facilitar el lavado de estos, también se refleja en el panel (mediante señales lumínicas) el nivel en que comenzará el lavado de la celda y cuando se alcance el nivel

máximo la señal lumínica en este caso accionará conjuntamente con la señal sonora. (Ramos, 2007)

Para el caso de los filtros el control actual está previsto de forma manual de la siguiente manera:

Se realiza permanentemente el sensado del nivel de agua en los filtros, el cual irá aumentando de forma progresiva durante la carrera de filtración debido a la pérdida de carga. Cuando este nivel llega a un valor máximo permitido, se enviará una señal lumínica y sonora al panel de control central de la planta la que indicará cuál es el filtro que necesita ser lavado. El proceso de lavado será controlado desde una pasarela sobre los filtros donde existe un pupitre de mando para cada celda del cual se podrán realizar todas las operaciones necesarias en el retrolavado. El proceso será seguido, mientras dure, a través de la medición de presión diferencial en cada celda que permite conocer, por señal analógica que llega al pupitre a un visor digital, las pérdidas de carga en la filtración y por ende cualquier anomalía que pueda ocurrir. (Ramos, 2007)

### **1.6 Conclusiones parciales.**

Para lograr una optimización en el uso de los recursos, la efectividad y la eficiencia de una planta potabilizadora, así como la calidad del agua que se abastece a la población, la automatización se hace necesaria.

Se analizó la situación tecnológica en que se encuentran las plantas en el país, su nivel de automatización así como los trabajos que se han desarrollado a nivel mundial en este campo y las estrategias seguidas para estos, notándose que la planta cumple con todos los requisitos para desarrollar un sistema automatizado en sus instalaciones.

## **CAPÍTULO 2. CONCEPCIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.**

Conocido el funcionamiento de una planta potabilizadora de agua. Pasaremos a tratar ahora temas más específicos, acercándonos a las particularidades de la planta potabilizadora Palmarito, ubicada en la ciudad de Santa Clara situadas en las cercanías de la autopista nacional por la zona oeste de la ciudad.

De ella nos interesa saber la cantidad de variables que se deben procesar, así como las características que las definen para poder plantearnos una propuesta técnica del proceso a tratar siendo estos los objetivos perseguidos en este capítulo.

### **2.1 Particularidades Planta Potabilizadora Palmarito.**

El gasto promedio de entrada al módulo será de 400 l/s, en condiciones forzadas será de 500 l/s, para lo cual se hará necesario trabajar con niveles bajos en el tanque de la ciudad, por debajo al menos 1 m del nivel de reboso pues existe la posibilidad de remanso de los filtros por el tanque para caudal forzado. La planta contempla el aprovechamiento del agua producto del lavado de los filtros, por lo cual en cada módulo de tratamiento luego de ser ésta almacenada en una cisterna, sería recirculada a la entrada del floculador con un gasto uniforme de 20 l/s.(Ramos, 2007)

- **Eficiencia del tratamiento.**

La planta debe ser capaz de producir un agua tratada, que cumpla con los parámetros de calidad, como se muestra en la tabla 2.1 entre los que se encuentran:

**Tabla 2. 1 Parámetros de agua Tratadas**

| <i>Características</i>          | <i>Concentración máxima</i> |                  |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------|
|                                 | <i>Deseable</i>             | <i>Admisible</i> |
| Turbidez (u)                    | 5                           | 10               |
| Color (u)                       | 5                           | 15               |
| pH                              | 7 a 8                       | 7,5 a 8,5        |
| Manganeso (mg/l)                | 0,05                        | 0,10             |
| Hierro (mg/l)                   | 0,10                        | 0,30             |
| Cloruro (mg/l)                  | 200                         | 250              |
| Sulfato (mg/l)                  | 200                         | 400              |
| Nitrito (mg/l)                  | 0                           | 0                |
| Nitrato (mg/l)                  | 0                           | 45               |
| Aluminio (mg/l)                 | 0,05                        | 0,20             |
| Coliformes fecales (NMP/100 ml) | 0                           | 0                |
| Dureza total (mg/l)             | 100                         | 400              |

La planta potabilizadora, ha sido diseñada para tratar un agua cruda con gran contenido de color, baja turbidez y presencia de hierro y manganeso en cantidades que sobrepasan los valores admisibles.

### **2.1.1 Coagulador - Flocculador y Sedimentador.**

En este acápite se tratará esto como un solo dispositivo por la forma en que ha sido concebido. El módulo de tratamiento, cuenta con una cámara de mezcla rápida y un flocculador, a cuyos lados se coloca un sedimentador vertical con lecho de fango y sistema lamelar de alta carga, integrado todo esto en un solo objeto de obra.

Este dispositivo se equipará con un agitador rápido de paletas, de flecha vertical, fijando su motor a una pasarela superior y será el encargado de aportar la energía necesaria para la mezcla rápida de los productos químicos a usar. Las principales características se reflejan en la tabla 2.2.

**Tabla 2. 2 Parámetros de trabajo de mezcla rápida.**

| <i>Especificación</i>          | <i>Gasto de Entrada</i> |       |
|--------------------------------|-------------------------|-------|
|                                | Q prom                  | Q máx |
| Volumen útil (m <sup>3</sup> ) | 13,7                    | 13,7  |
| Tiempo de retención (min)      | 0,50                    | 0,40  |
| Cantidad de agitadores (U)     | 1                       | 1     |
| Potencia requerida (W)         | 7500                    | 7500  |
| Gradiente medio (1/s)          | 500                     | 500   |

Una vez realizada la mezcla rápida, el agua rebosará y entrará al floculador que se extenderá en la longitud, la longitud de este dispositivo es de 23,5 m y el ancho es de 2,95 m. A lo largo del floculador se colocarán 4 agitadores de mezcla lenta, de paletas, de flecha vertical que serán los encargados de proveer la energía necesaria para la formación de los flóculos de alúmina. (Ramos, 2007)

**Tabla 2. 3 Parámetros de trabajo del floculador mecánico.**

| <i>Especificación</i>          | <i>Gasto de entrada</i> |                |
|--------------------------------|-------------------------|----------------|
|                                | Q prom                  | Q máx          |
| Volumen útil (m <sup>3</sup> ) | 225,0                   | 225,0          |
| Tiempo de retención (min)      | 16,00                   | 11,5           |
| Cantidad de agitadores (U)     | 4                       | 4              |
| Potencia requerida (kW)        | 2,2;0,37; 0,18          | 2,2;0,37; 0,18 |
| Gradiente medio (s-1)          | 90;54;27                | 90;54;27       |

### ➤ Sedimentador

Esta obra de tratamiento es del tipo de sedimentación de alta carga para lo que se ha equipado con un sistema lamelar plástico que permitirá el aumento del caudal a tratar.

**Tabla 2. 4 Parámetros de trabajo de la zona de sedimentación**

| <i>Especificación</i>            | <i>Gasto de entrada</i> |         |
|----------------------------------|-------------------------|---------|
|                                  | Q prom                  | Q máx   |
| Área total (m <sup>2</sup> )     | 329,00                  | 329,00  |
| Volumen total (m <sup>3</sup> )  | 1252,00                 | 1252,00 |
| Tiempo de retención total (min)  | 46,37                   | 38,28   |
| Velocidad de ascenso (m/h)       | 4,90                    | 5,96    |
| Carga Superficial Relativa (m/h) | 1,56                    | 1,56    |

El operador regulará, tanto el tiempo de abertura de la válvula, como el tiempo transcurrido entre operaciones, siendo la regulación opcional a través de un temporizador.

Los parámetros que indicarán este control están reflejados en la tabla 2.5 por:

**Tabla 2. 5 Parámetros de trabajo de la zona de manto de lodo**

| <i>Especificación</i>               | <i>Gasto de entrada</i> |        |
|-------------------------------------|-------------------------|--------|
|                                     | Q prom                  | Q máx  |
| Volumen útil (m <sup>3</sup> )      | 261,80                  | 261,80 |
| Tiempo de retención (min)           | 9,70                    | 8,00   |
| Pérdida de carga (m)                | 0,06                    | 0,06   |
| Concentración de lodos estimada (%) | 30                      | 30     |
| Gradiente medio (1/s)               | 30                      | 33     |

### 2.1.2 Filtros rápidos a gravedad.

La planta potabilizadora Palmarito tendrá una batería de filtros rápidos, abiertos, de lecho de antracita. Son seis celdas de filtración independientes de 6X4 m, construidas en dos hileras de tres celdas con un muro común. Estos filtros serán retrolavados, una vez que concluya su carrera de filtración mediante las bombas existentes.

**Tabla 2. 6 Parámetros de trabajo de los filtros.**

| <i>Especificación</i>        | <i>Gasto de entrada</i> |        |
|------------------------------|-------------------------|--------|
|                              | Q prom                  | Q máx. |
| Cantidad de celdas (u)       | 6                       | 6      |
| Área total (m <sup>2</sup> ) | 288,00                  | 288,00 |
| Velocidad de filtrado (m/h)  | 11,25                   | 13,63  |
| Gasto de retrolavado (l/s)   | 230,00                  | 230,00 |
| Expansión en el lavado (%)   | 20                      | 20     |
| Carrera de filtración (h)    | 24 a 72                 | 24     |

La llegada del agua sedimentada a la batería de filtros se realiza mediante el tubo de interconexión con el sedimentador a partir de la bifurcación del mismo, cada celda filtrante constará con cinco válvulas con diferentes funciones.

**Tabla 2. 7 Características de las válvulas.**

| <i>Función Válvula</i>         | <i>Diámetro</i><br>(mm) | <i>Tipo</i> |
|--------------------------------|-------------------------|-------------|
| Entrada de agua a filtrar      | 250                     | Mariposa    |
| Entrada de agua de retrolavado | 350                     | Mariposa    |
| Salida de agua filtrada        | 250                     | Mariposa    |
| Salida de agua de desecho      | 250                     | Guillotina  |
| Salida de drenaje              | 300                     | Mariposa    |

➤ **Proceso de retrolavado.**

El lavado a contra corriente se realizará impulsando el agua desde la estación de bombeo de retrolavado que está conformada por bombas horizontales. La estación de bombeo consta de tres bombas, dos de trabajo y una de reserva, Para el arranque de la estación de bombeo hará falta un nivel mínimo en el tanque de 0,2 m, por debajo del cual quedará bloqueado el funcionamiento de las bombas para evitar la entrada de agua a las mismas, este nivel podrá ser ajustado durante la operación del sistema.

Durante la carrera de filtración el nivel de agua en los filtros irá aumentando progresivamente, debido al aumento de la pérdida de carga en la filtración, hasta llegar al nivel máximo esperado.

La secuencia de operaciones a ejecutar en el lavado se describe a continuación (Ramos, 2007):

1. Cerrar válvula de entrada de agua al filtro: Esto se realizará mediante la operación desde el pupitre de la válvula de entrada.
2. Cerrar la válvula de salida de agua del filtro, utilizándose el mismo principio anterior.
3. Abrir la válvula de entrada de agua para el retrolavado, utilizándose el mismo principio anterior.
4. Abrir la válvula de desecho del lavado, utilizándose el mismo principio anterior.
5. Arranque de la primera bomba de lavado.
6. Una vez transcurrido un tiempo de entre 1 y 5 min, entrará en funcionamiento la segunda bomba de lavado hasta lograr un efluente claro en el lavado, tiempo estimado promedio de 8 a 10 minutos.
7. Apagado de las bombas de lavado.
8. Cierre de la válvula de entrada de agua de retrolavado.
9. Cierre de la válvula de salida del desecho del filtrado.
10. Apertura de la válvula de salida de drenaje del filtro.
11. Drenaje o secado del filtro.
12. Apertura de la válvula de entrada de agua del filtro y enjuague durante un periodo de 1 minuto.
13. Cierre de la válvula de drenaje.
14. Apertura de la válvula de salida de agua filtrada.
15. Comienzo del nuevo ciclo de filtración.

### 2.1.3 Dosificación de productos químicos.

Se utiliza para el tratamiento, dos tanques mezcladores, con una bomba dosificadora, aunque en total existen en el foso de reactivos químicos seis tanques y tres bombas ya que habrá dos tanques y una bomba con doble conexión de reserva para picos de demanda de alúmina o roturas y los tanques y bombas de un módulo adicional previsto para un futuro. Los tanques funcionarán uno en operación y otro en llenado.

## 2.2 Requisitos de Entrada-Salida.

En el desarrollo de este trabajo se tienen en cuenta las partes más significativas de la planta a tratar, refiérase al floculador, sedimentador, los filtros, el centro de productos químicos y el tanque cisterna.

Luego de realizar la ingeniería básica a cada una de estas áreas fue elaborado un listado de variables a supervisar y/o controlar que se muestra a continuación en la tabla 2.8, desglosado por subsistemas:

**Tabla 2. 8 Análisis de variables.**

| <i>Área tecnológica</i> | <i>No de Variables</i> | <i>Variables Analógicas</i> | <i>Variables Digitales</i> |
|-------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Floculador              | 22                     | 12                          | 10                         |
| Sedimentador            | 16                     | 16                          | 0                          |
| Filtro                  | 42                     | 36                          | 6                          |
| Productos químicos      | 48                     | 0                           | 48                         |
| Tanque Cisterna         | 1                      | 1                           | 0                          |
| Total                   | 129                    | 65                          | 64                         |

De ellas se tratan en esta planta como ya se indicó, desglosado por unidades las siguientes variables:

En el floculador se tendrá presente el nivel en cada uno de los bloques con que cuenta esta área, además de un análisis de la turbidez con que entra el agua a esta sección, también se tiene en cuenta el estado de los motores mezcladores, presentes en esta unidad que son un

total de 5, el flujo de entrada a la planta es otro de los parámetros que se valora en la primera unidad donde se procesan datos en una planta de tratamiento de agua potable.

**Tabla 2. 9 Características de variables.**

| <i>Variable</i>       | <i>Rango</i> |          |
|-----------------------|--------------|----------|
|                       | Máximo       | Mínimo   |
| Nivel                 | 3.1 m        | 2.8m     |
| Turbidez              | 3 NTU        | 10 NTU   |
| Flujo de entrada      | 500 l/s      | 40 l/s   |
| Estado de los motores | Encendidos   | Apagados |

Luego en el sedimentador se le da un seguimiento a parámetros como la turbidez que se convierte en un factor importante dentro del proceso ya que a valores muy altos de esta variable, se convierte el agua que se trata en la planta en un producto peligroso para el consumidor final, pudiendo provocar diferentes tipos de enfermedades. Para tener un conocimiento total se hacen mediciones de la turbidez en el manto de lodo y en la salida hacia los filtros, realizándose una comparación entre ambas, dando como resultado la activación de una alarma por límite y **n** lecturas consecutivas; en este caso se realiza la alarma cuando ocurre **n** veces con ello se evita dar la alarma por posibles ruidos o repeticiones, evitando así la purga continua del sedimentador; esta unidad está dotada de 6 electroválvulas para la purga del sedimentador; siendo necesario conocer el estado en que se encuentran dichas electroválvulas.

**Tabla 2. 10 Características de variables.**

| <i>Variables</i>              | <i>Rango</i> |         |
|-------------------------------|--------------|---------|
|                               | Máximo       | Mínimo  |
| Turbidez Manto de lodo        | 8 NTU        | 4 NTU   |
| Turbidez hacia los filtros    | 7 NTU        | 4 NTU   |
| Estado de las electroválvulas | Abierta      | Cerrada |

Por su parte los filtros, la unidad más importante dentro del proceso de potabilización del agua, se hace imprescindible para su buen funcionamiento conocer el nivel en que se encuentran sus compartimientos, definiendo esta variable el paso del estado de filtración a lavado y posteriormente a drenaje. Para lograr esta función se cuenta con un grupo de electroválvulas y bombas, que aportan una serie de variables a tratar (tabla 2.11), como por ejemplo el estado en que se encuentran las bombas (encendido o apagado) y la abertura que tienen las electroválvulas.

**Tabla 2. 11 Características de variables.**

| <i>Variables</i>         | <i>Rango</i> |          |
|--------------------------|--------------|----------|
|                          | Máximo       | Mínimo   |
| Nivel                    | 3.2 m        | 2.6 m    |
| Bombas                   | Encendidas   | Apagadas |
| Abertura de las válvulas | 100 %        | 0 %      |

En la sala de productos químicos, se encuentran presentes un conjunto de tanques destinados a la preparación de alumina, zeolita y otras sustancias útiles para la floculación o sedimentación del agua, estos tanques se encuentran dotados de un grupo de mezcladores y bombas, donde se reflejará en la pantalla la situación de cada uno de estos equipos. Mientras en el tanque cisterna solo se tendrá en cuenta el nivel de agua almacenada. (Ramos, 2007)

**Tabla 2. 12 Características de variables.**

| <i>Variables</i>          | <i>Rango de operación</i> |         |
|---------------------------|---------------------------|---------|
|                           | Máximo                    | Mínimo  |
| Nivel del tanque cisterna | 90 %                      | 0.1 %   |
| Estado de las bombas      | Encendido                 | Apagado |
| Estado de los mezcladores | Encendido                 | Apagado |

### 2.3 Características de los elementos de medición.

Para las distintas mediciones que se realizan en la planta se seleccionaron distintos tipos de sensores con determinado principio de funcionamiento adecuado para cada espacio en la planta.

#### 2.3.1 Sensor de nivel.

Para el tratamiento del nivel se han desarrollado diferentes formas, tales como la detección del nivel por conductividad, por los niveles de capacidad o por vía ultrasónica, utilizándose en nuestro caso la medición del nivel por presión hidrostática, la sencillez de su montaje, bajos costos, su facilidad para el ajuste y los buenos resultados que de la medición se desprenden, motivan su selección. La presión hidrostática correspondiente a una columna de líquido de altura determinada se calcula mediante la expresión:

$$P = h * \rho * g \quad 2.1$$

Donde:

P = Presión.

h = Altura de la columna de líquido.

g = Aceleración de la gravedad.

$\rho$  = Densidad efectiva del medio.

A partir de la fórmula se observa que si la densidad efectiva del medio es constante, la única variable es la altura (h), así pues la presión es directamente proporcional a la altura (h), o sea al nivel de líquido en el tanque (véase en la Figura.2.1);(Kamp, 2005)

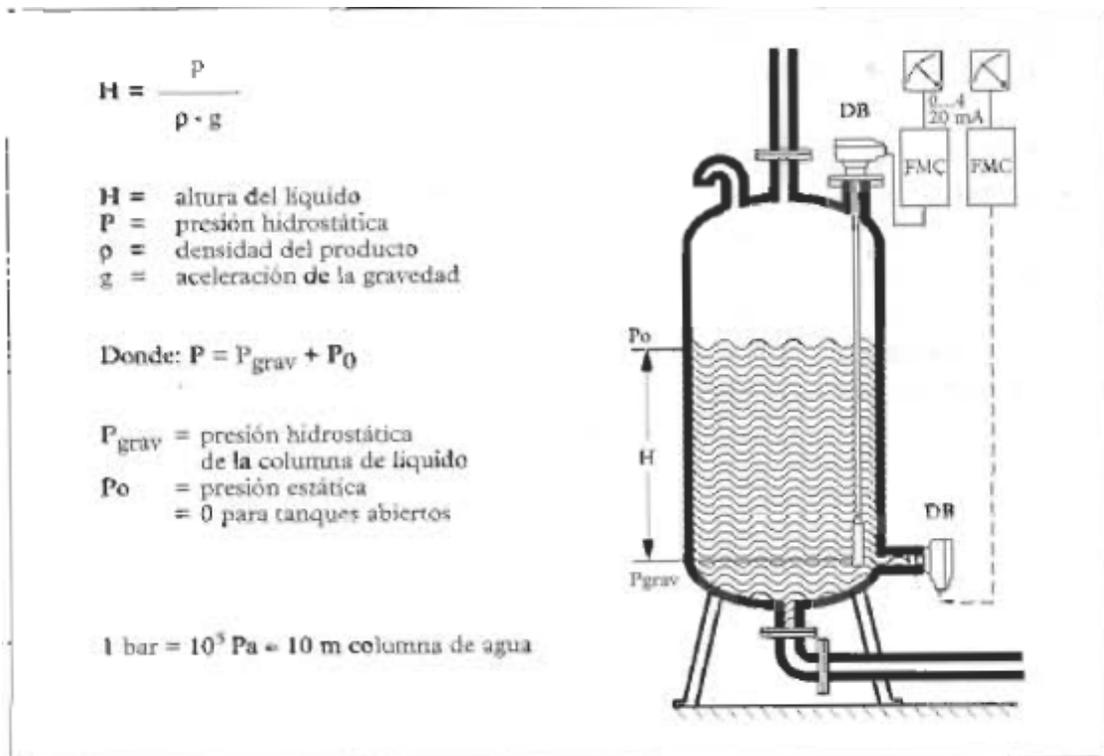


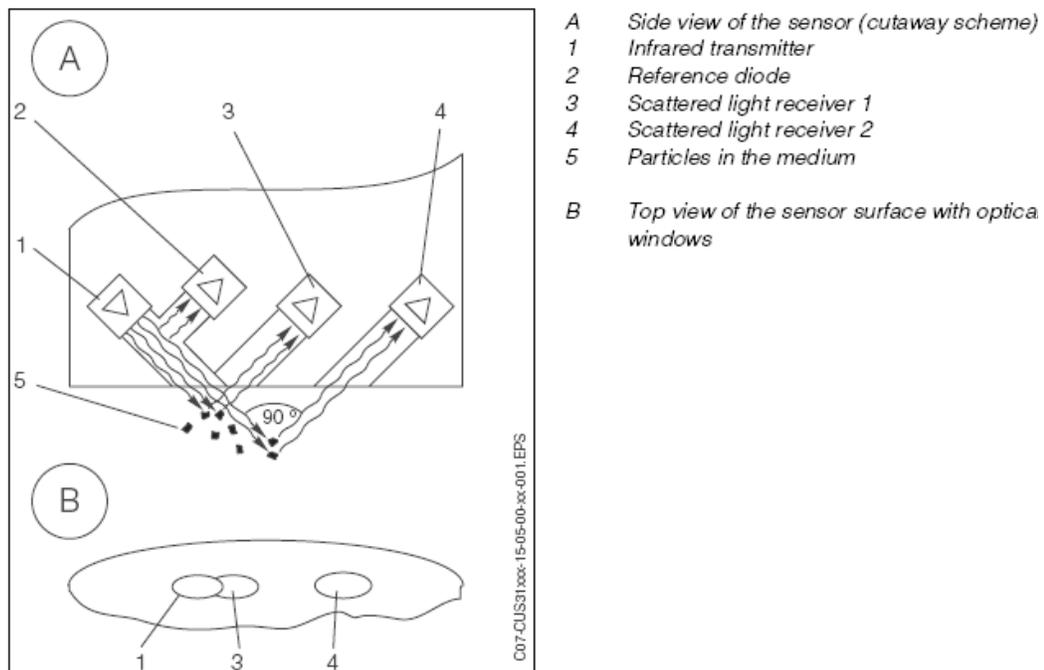
Figura 2. 1 Principio de funcionamiento de la medición.

### 2.3.2 Sensor de turbidez.

Mientras la turbidez en el agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas, materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos. La transparencia del agua es muy importante cuando está destinada al consumo del ser humano, por lo cual, la determinación de la turbidez es muy útil como indicador de la calidad del agua, y juega un papel muy importante en el desempeño de las plantas de tratamiento de agua, formando parte del control del proceso para conocer cómo y cuándo el agua debe ser tratada. El método a emplear se basa en la excitación de radiación de un transmisor infrarrojo (Figura.2.2, punto 1) el rayo infrarrojo golpea el medio con un ángulo definido. Las refracciones diferentes de luz entre la ventana de entrada y el medio (el agua) son tenidas en cuenta.

Las partículas en el medio (el Artículo 5) crean una radiación dispersa que golpea a los receptores ligeros (de luz) (Artículos 3 y 4) en un ángulo definido del rayo. La medición en

el medio constantemente es comparada con los valores de un receptor de referencia (el Artículo 2). (Endress+Hauser, 2007)



**Figura 2. 2 Principio de funcionamiento del sensor.**

## 2.4 Estrategia de Control.

En este proyecto, luego de analizar cada una de las exigencias tecnológicas planteadas, y cada una de los requisitos propios, exigidos por las distintas características de la planta se ha decidido, tratar las unidades, por separado y dividida en las distintas partes con que cuenta este sistema, dígase el floculador, sedimentador, filtros, sala de químicos y tanque cisterna.

Como característica fundamental, se destaca que casi en su totalidad todas las variables a tratar no se analizarán como función de lazo cerrado, solo en el caso de los filtros, donde se aplicará en cada uno de ellos un lazo cerrado de nivel, como se indica en la figura 2.3, Todos los otros tratamientos a variables serán de indicación, y lazos abiertos de control.

En los filtros se trabaja de la siguiente forma:

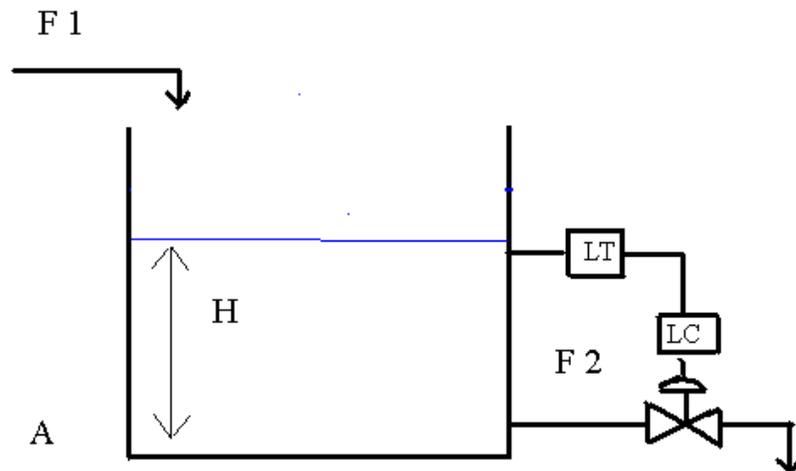


Figura 2. 3 Estrategia de control.

Como se puede ver en la unidad se implementó una estrategia de control convencional como controles con retroalimentación utilizándose para los mismos controles clásicos PID los cuales son implementados sobre PLC.

En sentido general se cuenta con 6 lazos de control de los cuales están todos en la parte de los filtros. Uno por cada filtro.

El número de variables es igual a tres (3) que son ( $F_2, F_1, H$ )

El número de ecuaciones es igual a uno (1) siendo  $A \cdot \frac{dH}{dT} = F_1 - F_2$

El grado de libertad del sistema (f) responde a la ecuación:

$$f = \#Variables - \#Ecuaciones = 3 - 1 = 2$$

El número de variables a controlar en este caso ( $\#Var_{cont}$ ) es:

$$\#Var_{cont} = f - \#Var_{ext} = 2 - 1 = 1$$

Siendo

$$\#Var_{ext} = \text{El número de variables externas en este caso } F_1$$

Se controla en este caso la altura H con  $F_2$ , como se indica en la figura 2.4, quedando entonces la expresión de H de la siguiente forma:

$$A(s) * H(s) = F_1 - F_2$$

$$H(S) = \frac{F_1(S)}{A(S)} - \frac{F_2(s)}{A(s)}$$

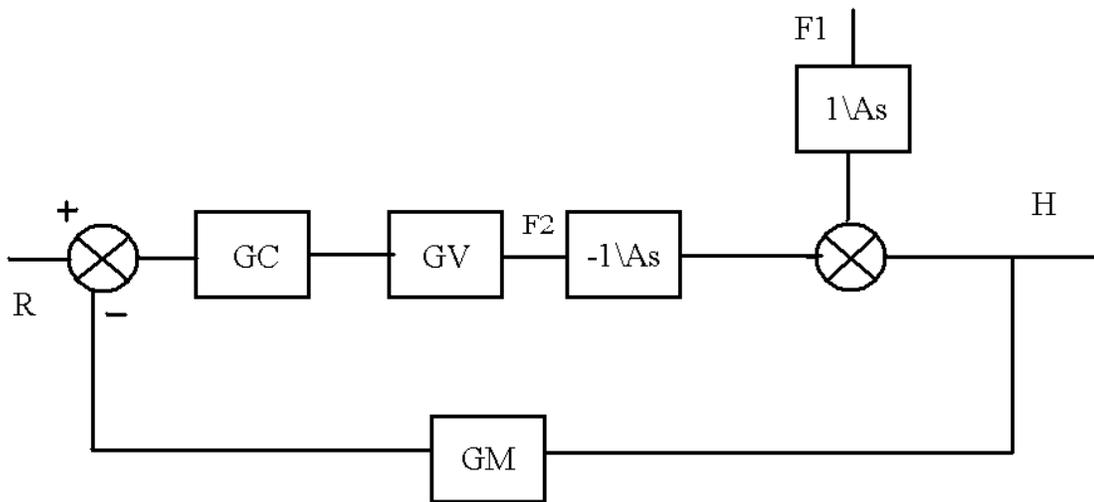


Figura 2. 4 Lazo de control.

## 2.5 Esquema funcional de automatización.

El esquema funcional es el documento principal para la elaboración y realización del proyecto de automatización.

El esquema define la estructura de regulación a utilizar en cada lazo de regulación del proyecto, así como los parámetros a controlar, los mandos requeridos y también puede definir la localización de los instrumentos, cada área se identificará con un número específico. (Herrera, 1990)

Los esquemas funcionales pueden tomar múltiples formas de confección de acuerdo con los factores siguientes:

- Área tecnológica que se proyecte;
- Forma de operación tecnológica;
- Importancia de los lazos;

Para representar el flujo de procesos de la planta potabilizadora “Palmarito”, se determinó el siguiente esquema Figura. 2.5 y en los subepígrafes de este capítulo detallamos cada una de las áreas tecnológicas en particular, usando para designar y representar los diferentes elementos de que consta la planta las normas de la Sociedad Americana de Instrumentistas (ISA), concretamente la norma ISA-S5.1-84, que es prácticamente un estándar de facto en la representación de esquemas industriales y que además facilita la asignación de códigos y simbología para accionamientos, elementos de medición y control definiendo una etiqueta identificadora denominada TAG. La misma consta de dos partes, una de letras y la otra de números, para la representación de la planta se ha seguido la siguiente codificación:

**Tabla 2. 13 Nomenclaturas utilizadas.**

| <i>1ª Letra</i>          | <i>Letras Sucesivas</i> |
|--------------------------|-------------------------|
| <b>Variables Medidas</b> | <b>Función</b>          |
| L= Nivel                 | C=Control               |
| F=Flujo                  | T=Trasmisor             |
| T=Turbidez               | V=Válvula               |
| R=Mezcladores            | I=Indicación            |

La lista de cada una de las variables se dará a conocer por separado a medida que se aborden las diferentes áreas tecnológicas.

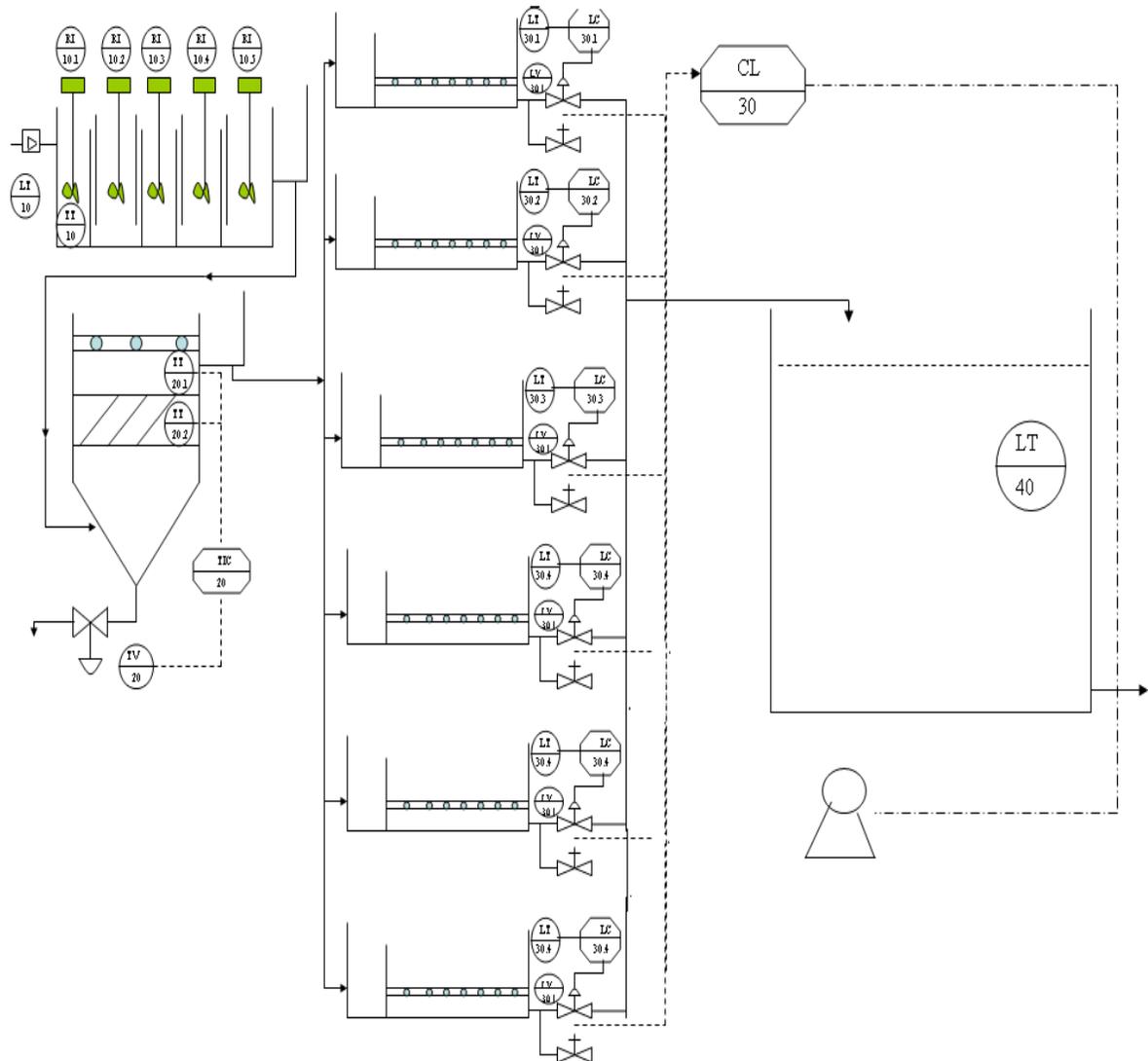


Figura 2. 5 Diagrama de flujo.

### 2.5.1 Esquema funcional de automatización del floculador.

Para la automatización de este objeto de obra se plantean los siguientes requerimientos técnicos, siendo el número identificativo 10.

1. Realizar el bloqueo de la alimentación de agua de entrada al floculador mediante el cierre de válvula de alimentación; por nivel alto en el floculador.
2. Señalizar:
  - Mando y parada de los mezcladores.

- Nivel alto en cada compartimiento.
  - Turbidez alta del agua de entrada.
3. Realizar las mediciones locales siguientes:
- Nivel en cada compartimiento.
  - Turbidez del agua de entrada.
  - Flujo de entrada al floculador.

Para cumplir con el primero de los objetivos es necesario realizar la medición de este nivel, lográndose con la utilización del sensor de presión hidrostática LT10, como se muestra en la figura 2.6.

La señalización de mando y parada de los mezcladores, representados por RI 10.1 hasta el RI 10.5 se realiza en la pantalla a través de la utilización de colores para el encendido y apagado, además del uso de señales lumínicas en los paneles, esta acción se llevará a cabo como una función de control de lazo abierto, iniciándose 45 minutos después que comience el proceso de preparación de alumina que es de forma manual. Contando también con los RA 10.1 hasta los RA 10.5 indicando la acción que se llevará a cabo con estos motores que pueden ser encendidos o apagados.

Para la señalización de la turbidez alta se emplea una señal lumínica, este resultado se obtiene de la medición local de esta variable por el sensor de código TT10.

Mientras el flujo se realiza a través del flujómetro marcado con el código FT 10.

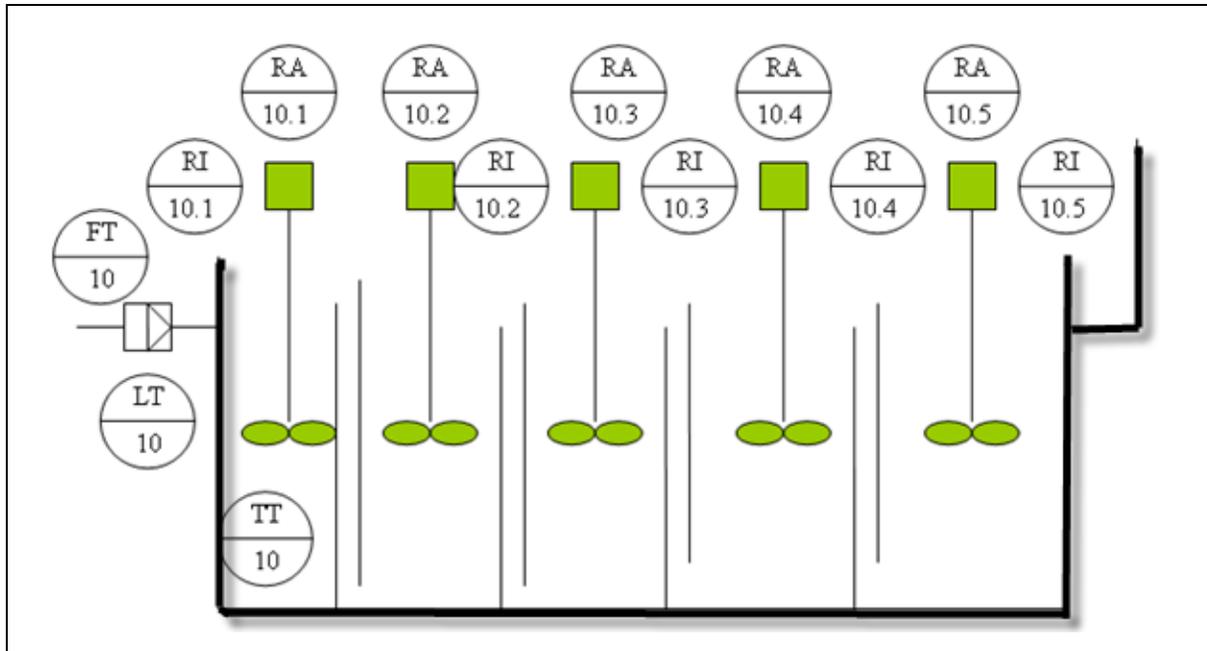


Figura 2. 6 Esquema funcional.

Tabla 2. 14 Descripción de los tag.

| <i>TAG</i> | <i>Descripción</i>    | <i>Tipo</i> | <i>Señal</i> | <i>Rango</i> | <i>E/S</i> |
|------------|-----------------------|-------------|--------------|--------------|------------|
| RI 10.1    | Indicador de estado   | Digital     | 10 Voltios   |              | Entrada    |
| RI 10.2    | Indicador de estado   | Digital     | 10 Voltios   |              | Entrada    |
| RI 10.3    | Indicador de estado   | Digital     | 10 Voltios   |              | Entrada    |
| RI 10.4    | Indicador de estado   | Digital     | 10 Voltios   |              | Entrada    |
| RI 10.5    | Indicador de estado   | Digital     | 10 Voltios   |              | Entrada    |
| RA 10.1    | Toma de acción        | Digital     | 10 voltios   |              | Salida     |
| RA 10.2    | Toma de acción        | Digital     | 10 voltios   |              | Salida     |
| RA 10.3    | Toma de acción        | Digital     | 10 voltios   |              | Salida     |
| RA 10.4    | Toma de acción        | Digital     | 10 voltios   |              | Salida     |
| RA 10.5    | Toma de acción        | Digital     | 10 voltios   |              | Salida     |
| LT 10      | Trasmisor de Nivel    | Analógico   | 4-20mA       | 0-100%       | Entrada    |
| TT 10      | Trasmisor de Turbidez | Analógico   | 4-20mA       | 099.99%      | Entrada    |

### 2.5.2 Esquema funcional de automatización del sedimentador

Para la automatización de este objeto de obra se plantean los siguientes requerimientos técnicos, siendo el número identificativo 20.

- Realizar las mediciones locales siguientes:
  1. Turbidez en el manto de lodo.
  2. Turbidez en la salida hacia los filtros.
    1. Señalizar:
      - Estado de las válvulas
    2. Realizar un histórico del comportamiento de la turbidez, determinado este la purga del sedimentador, mediante las válvulas existentes.

Para cumplir con la medición local se utilizan los sensores marcados con el identificativo TT 20.2 para la turbidez en el manto de lodo mientras el TT 20.1 para la salida hacia los filtros, observándose en la figura 2.7. Reflejado un control a lazo abierto para la limpieza del sedimentador realizándose por la diferencia de valores de turbidez identificándose este elemento como TIC 20.

Para la señalización del estado de la válvula TV 20 se empleará el uso de cuadros de texto en la pantalla señalizando en números la abertura de la válvula. Mientras el histórico se basará en la realización de una base de datos en tiempo real de los valores registrados de las mediciones locales.

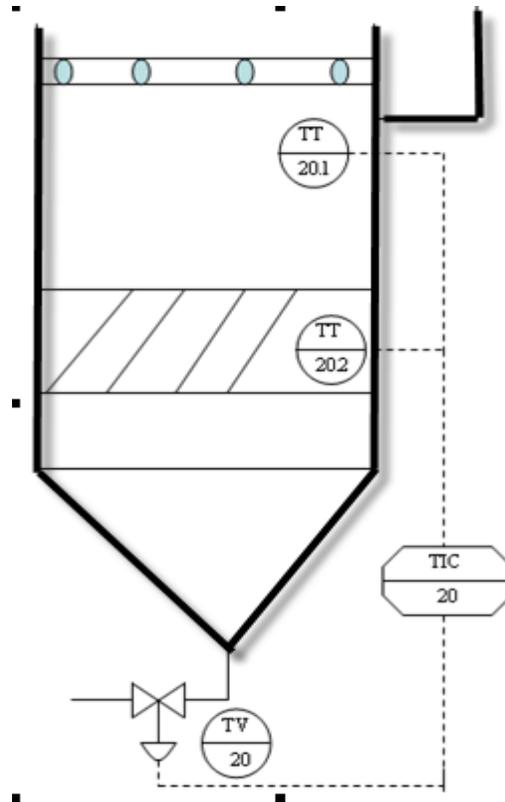


Figura 2. 7 Esquema funcional.

Tabla 2. 15 Descripción de tag.

| <i>TAG</i> | <i>Descripción</i>      | <i>Tipo</i> | <i>Señal</i> | <i>Rango</i> | <i>E/S</i> |
|------------|-------------------------|-------------|--------------|--------------|------------|
| TT 20.1    | Trasmisor de Turbidez   | Analógico   | 4-20mA       | 0-99.99%     | Entrada    |
| TT 20.2    | Trasmisor de Turbidez   | Analógico   | 4-20mA       | 0-99.99%     | Entrada    |
| TV 20      | Electroválvula          | Digital     | 10 voltios   |              | Salida     |
| TIC 20     | Controlador de Turbidez | Analógico   | 4-20mA       | 0-100%       | Salida     |

### 2.5.3 Esquema funcional de automatización del filtro.

Los requerimientos técnicos principales se muestran a continuación para esta parte de la planta de tratamiento de agua “Palmarito”, siendo el número identificativo 30.

1. Regular el nivel en los filtros, mediante la acción de la válvula reguladora de salida al tanque, siguiendo este regulador un modo de control proporcional.
2. Realizar el bloqueo de alimentación de agua por nivel alto en el tanque cisterna, mediante válvula de entrada al filtro.
3. Señalizar:
  - Estado de apertura de las válvulas.
  - Nivel alto del filtro.
  - Mando y parada de las bombas de lavado.
4. Realizar la medición local de nivel en el filtro.

En la figura 2.8 se observa que la medición del nivel se realiza donde se quiere obtener la función de regulación, esta medición identificada por LT 30.1 ya tiene una salida normalizada de 4-20mA, de aquí pasa directamente al regulador P identificado por LC 30.1, este da una salida hacia el elemento final de control, la electroválvula LV 30.1.

Para realizar el bloqueo de la unidad se tiene en cuenta el nivel de llenado con que cuenta el tanque cisterna, estando alto, se pasa a cerrar la válvula de entrada de agua al filtro.

Mientras para la señalización del nivel alto se indica con una señal lumínica y sonora, por otro lado la señalización de mando y parada de las bombas de lavado se realiza en la pantalla a través de la utilización de colores para el encendido y apagado, además del uso de señales lumínicas en los paneles, al igual que para la posición de las válvulas se emplea el posicionador, reflejando el resultado en forma de texto en la pantalla. Se hace la representación de una sola unidad de filtros ya que se entiende que las demás tienen un funcionamiento similar.

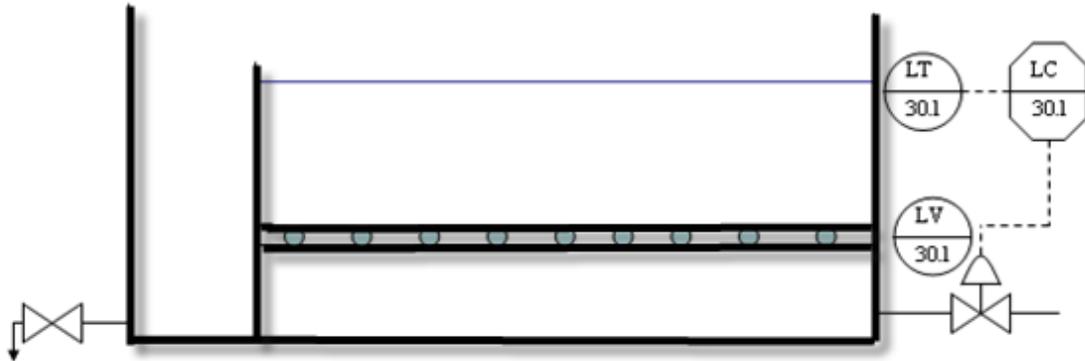


Figura 2. 8 Esquema funcional.

Tabla 2. 16 Descripción de tag.

| <i>TAG</i> | <i>Descripción</i>   | <i>Tipo</i> | <i>Señal</i> | <i>Rango</i> | <i>E/S</i> |
|------------|----------------------|-------------|--------------|--------------|------------|
| LT 30.1    | Trasmisor de nivel   | Analógico   | 4-20mA       | 0-100%       | Entrada    |
| LC 30.2    | Controlador de Nivel | Analógico   | 4-20mA       | 0-100%       | Salida     |
| LV 30.1    | Electroválvula       | Digital     | 10 voltios   |              | Salida     |

#### 2.5.4 Esquema funcional de automatización de la Sala de química.

Esta sección cuenta con un solo objetivo el cual es:

##### 3. Señalizar:

- Estado de los mezcladores.
- Estado de las bombas.

Esto se logrará en la pantalla a través del uso de la técnica de colores, además de una señal lumínica.

#### 2.5.5 Características del SCADA implementar.

Comprende todas aquellas soluciones de aplicación para referirse a la captura de información de un proceso o planta industrial (aunque no es absolutamente necesario que pertenezca a este ámbito), para que, con esta información, sea posible realizar una serie de análisis o estudios con los que se puedan obtener valiosos indicadores que permitan una retroalimentación sobre un operador o sobre el propio proceso, tales como:

- Indicadores sin retroalimentación inherente (no afectan al proceso, sólo al operador).

- Estado actual del proceso. Valores instantáneos.
- Evolución histórica y acumulada.
- Indicadores con retroalimentación inherente (afectan al proceso, después al operador).
- Generación de alarmas.
- HMI (Interfase hombre-máquina).
- Toma de decisiones.

Para que la instalación de un SCADA sea perfectamente aprovechada, debe cumplir varios objetivos:

1. Deben ser sistemas de arquitectura abierta (capaces de adaptarse según las necesidades de la empresa).
2. Deben comunicarse con facilidad al usuario con el equipo de planta y resto de la empresa (redes locales y de gestión).
3. Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware. Para obtener este nivel de prestaciones se trabajará con el software Movicon X2 capaz de ofrecer un elevado nivel de prestaciones.

#### **2.5.6 Movicon.**

Esta será la herramienta que se utilizará para el diseño del SCADA que se pretende implementar, este software está dotado de ciertas características que lo hacen elegible para la realización de este trabajo.

MOVICON (Monitoreo, Visión y Control), es una herramienta para compañías que trabajan en el campo de la automatización, control de procesos y edificios inteligentes. Movicon es un producto de Progea que es una compañía italiana que ha producido productos software para la automatización industrial desde 1990.

Movicon permite la adquisición de datos a través de su comunicación con el PLC, red y bus de campo, así como la configuración de herramientas y sensores. Los datos adquiridos son coleccionados dentro de una base de datos en tiempo real (RTDB) y luego son disponibles

para todos los objetos y recursos para crear de forma animada, sinópticos, alarmas, recetas, gráficos y reportes. (Ambrose, 2004)

Movicon tiene las siguientes características:

- Sistema Scada/ HMI para Win32.
- Trabaja bajo sistemas operativos desde Win2000 hasta WinXP
- Es un sistema Cliente/Servidor de 32 bit.
- Contiene una amplia biblioteca de símbolos, objetos gráficos.
- OPC cliente y servidor.
- OPC Data Access.
- OPC alarma y eventos.
- Programación en Basic Script que es 100% compatible con VBA (Visual Basic for Application) y multihilo.
- Contiene editores de menú y cajas de diálogo.
- Tiene un administrador de alarmas.
- Soporte de tecnología ActiveX.
- Soporte de OLE2, ODBC, DDE, DAO/ADO, SQL y OPC.
- Red de Cliente/Servidor de TCP/IP.
- Objetos PID integrados.
- Integrado gráfico y hoja de trabajo.
- Un depurador (debugger) integrado.
- Administración de estadísticas de evento o producción.
- Posibilidad de usar lenguaje de PLC en las lógicas que él dispone.

### ***Componentes utilizados en el diseño del supervisor***

Los datos de un proyecto hecho en Movicon son llevados a una base de datos de variables (*Real time Database* RTDB). La base de datos de la variable, puede ser importada o exportada a través de ODBC, que colecciona todos los datos de los *drivers* y los distribuye a los recursos del proyecto. Las bases de datos de variables pueden disparar de forma directa a los controles o alarmas. Esta base de datos permite la conexión a través del TCP/IP a estaciones remotas y se conecta dinámicamente a bases de datos externas a través

de ODBC, o son disponibles a otras aplicaciones gracias a la funcionalidad del Servidor OPC integrado.

La tecnología Movicon no se degrada en funcionamiento cuando se aumenta el número de variable porque ellos son mapeados directamente sin que se acceda a la base de datos durante el tiempo de corrido. Así se pueden implementar proyectos de gran cantidad de datos sin que se afecte la eficiencia y funcionamiento del programa.

Todas (o algunas) variables en Movicon pueden considerarse retentiva para mantener su estado, cuando la PC ha sido apagada. Las variables pueden ser de tipo *byte*, *word*, *double*, *float* y *array*. El modo de comunicación estándar es OPC.

Movicom fue una de las primeras aplicaciones SCADA que implementó el uso de OPC integrado. Para la comunicación usa los siguientes estándares:

- Cliente OPC versión 1.0 y 2.0
- Servidor OPC versión 1.0 y 2.0
- OPC AE (Alarms & Events)

Un ambiente orientado en objeto que está compuesto de un editor de objetos que en conjunto de librerías gráficas pueden implementar mímicos animados. Los mímicos también ofrecen una interfaz a *Basic Script VBA*, suministrando al programador con eventos, métodos y propiedades. De esta manera el usuario puede implementar cualquier tipo de objeto gráfico a través de la manipulación de las funciones.

## **2.6 Conclusiones parciales.**

Dadas las características tecnológicas de la planta potabilizadora “Palmarito” se ha logrado definir una lista de las principales variables que se deben tratar en el sistema de automatización, así como las estrategias de control a seguir, recomendando el uso de dispositivos de medición y computacionales específicos para la implementación del SCADA que se implementa y así la concepción del sistema de automatización a implementar.

## **CAPÍTULO 3. ESTRUCTURA DEL SISTEMA SCADA.**

Analizada en profundidad las características de la planta potabilizadora “Palmarito”, se plantea el objetivo de proponer el hardware que puede dar cumplimiento a los aspectos tratados en el capítulo anterior, además de obtener el diseño del software que permitirá llevar a cabo el funcionamiento de la planta, también veremos en este acápite un análisis económico de toda la propuesta planteada.

### **3.1 Selección de la capa física del SCADA.**

Para el desarrollo de este punto se tienen en cuenta las necesidades reales que existen en la planta siguiendo como norma lo analizado en el capítulo anterior.

#### **3.1.1 Selección de sensores.**

##### **☞ SENSOR DE NIVEL**

El sensor utilizado es de la firma Endress + Hauser, del modelo *Waterpilot FMX 167* compuesto por una sonda de cable fiable y resistente, con célula de medida cerámica, convirtiéndolo en un sensor compacto. La célula de medición cerámica es seca (no filtra aceite de relleno), es decir, la presión actúa directamente sobre el diafragma de cerámica del *Waterpilot FMX 167* y lo desplaza hasta un máximo de 0,005 mm.

Los efectos de la presión atmosférica sobre la superficie del líquido se transmiten por el tubo de compensación de presión hasta la parte superior del diafragma cerámico y se compensan. Los electrodos de la base cerámica miden la variación de capacidad en función de la presión que el movimiento del diafragma provoca. La electrónica convierte esta

medida en una señal proporcional a la presión, que es lineal con el nivel del medio. (Endress+Hauser, 2007)



**Figura 3. 1 Sensor de nivel.**

El sensor está dotado de nueve rangos fijos de medida de la presión marcados en bar, metros de columna de agua, PSI y pies de columna de agua; una señal de salida de 4 a 20 mA para el valor medido de la presión hidrostática, a 2 hilos.

#### ☞ **SENSOR DE TURBIDEZ**

El sensor de turbidez a utilizar es de la firma Hendress + Hauser, del modelo *TurbiMax W CUS 31* y posee las siguientes características:



**Figura 3. 2 Sensor de turbidez.**

- Rango de medida: 0.000-9999 FNU / 0.00-3000 ppm / 0.0- 3.0g/l / 0.0- 200.0%
- Máximo error en la medición: < 5 % (min. 0.02 FNU) respecto a la variable medida.
- Radio Frecuencia: 880nm.
- Instalable tanto en la tubería como en el lateral del tanque.
- No tiene acoplado transductor.

#### ☞ **TRANSDUCTOR DE TURBIDEZ.**

Para esta función se ha seleccionado de la propia línea Hendress + Hauser el transductor *Liquisys M CUM 223 / 253* el cual es recomendado por su fabricante para trabajar en conjunto con el sensor de turbidez *TurbiMax W CUS 31* mencionado anteriormente. El *Liquisys M CUM 223 / 253* cuenta con las siguientes características:

- Los datos son seleccionados vía menú.
- Durante la medición, el resultado de la variable medida puede ser mostrado en el display.
- Permite operación directa del operador sobre los contactos de que se encuentra provisto, permitiéndole limitar el acceso, o iniciar la limpieza de los contactos.
- Rango de medida a la entrada: 0.000... 9999 FNU, 0.00 ... 3000 ppm, 0.0 ... 3.0 g/l, 0.0 ... 200.0%
- Rango de Turbidez offset  $\pm 99.99$  FNU,  $\pm 99.99$  ppm,  $\pm 99.9$  g/l,  $\pm 99.9\%$
- Interfase con el sensor: digital
- Rango de salida: 4 ... 20 mA, galvánicamente separados;
- Error de corriente 2.4 / 22 mA
- Carga máx. 500  $\Omega$
- Rango de salida ajustable, min.  $\Delta 0.1$  FNU,  $\Delta 1$  ppm,  $\Delta 1$  g/l,  $\Delta 0.1\%$



**Figura 3. 3 Transductor de turbidez.**

### ☞ **Posicionador de la válvula**

Dentro del proceso se quiere tener conocimiento de la posición del obturador de la válvula, se usará para ello un posicionador de la propia firma a la que pertenecen las válvulas en este caso a la firma española Centork, (Corp., 2009) siendo de la serie PR-121R provisto de las siguientes características:

- Posicionador lineal inverso, mando electrónico, para actuadores lineales.
- **Repetitividad:** Diferencias menores del 0,3% del fondo de escala.
- **Histéresis:** Menor del 0,5% del fondo de escala.
- **Linealidad:** Mayor del 99% del fondo de escala.
- **Sensibilidad:** Variación de señal menor del 0,5% del fondo de escala en señal de control.
- **Señal de control:** 4-20 mA.
- **Presión de alimentación:** Max. 10 bares.
- **Temperatura de servicio:** -10°C a +50°C.

### **3.1.2 Dispositivos de regulación y mando.**

En toda la planta se dispondrá de un total de 8 PLC master K-120S con la unidad K7M-DRT/DT20U y la K7M-DRT/DT30U cada una con 20 y 30 puntos de entrada salida respectivamente, de la firma LS por su alto nivel de prestaciones y facilidades de comunicación con todos los dispositivos del sistema.

De un total de ocho se utilizan seis de ellos utilizados en función de cada uno de los filtros, como se muestra en la Figura. 3.6, con la unidad K7M-DRT/DT20U, atendiendo a todas sus entradas y salidas y además implementando el PID para control del nivel; de los dos restantes uno actúa como maestro de los PLC de las baterías de los filtros y el que se encarga de atender al resto de la planta, tributando todo este flujo de información a una PC central para la muestra final de la información al operador, conectados a través de una red Ethernet.

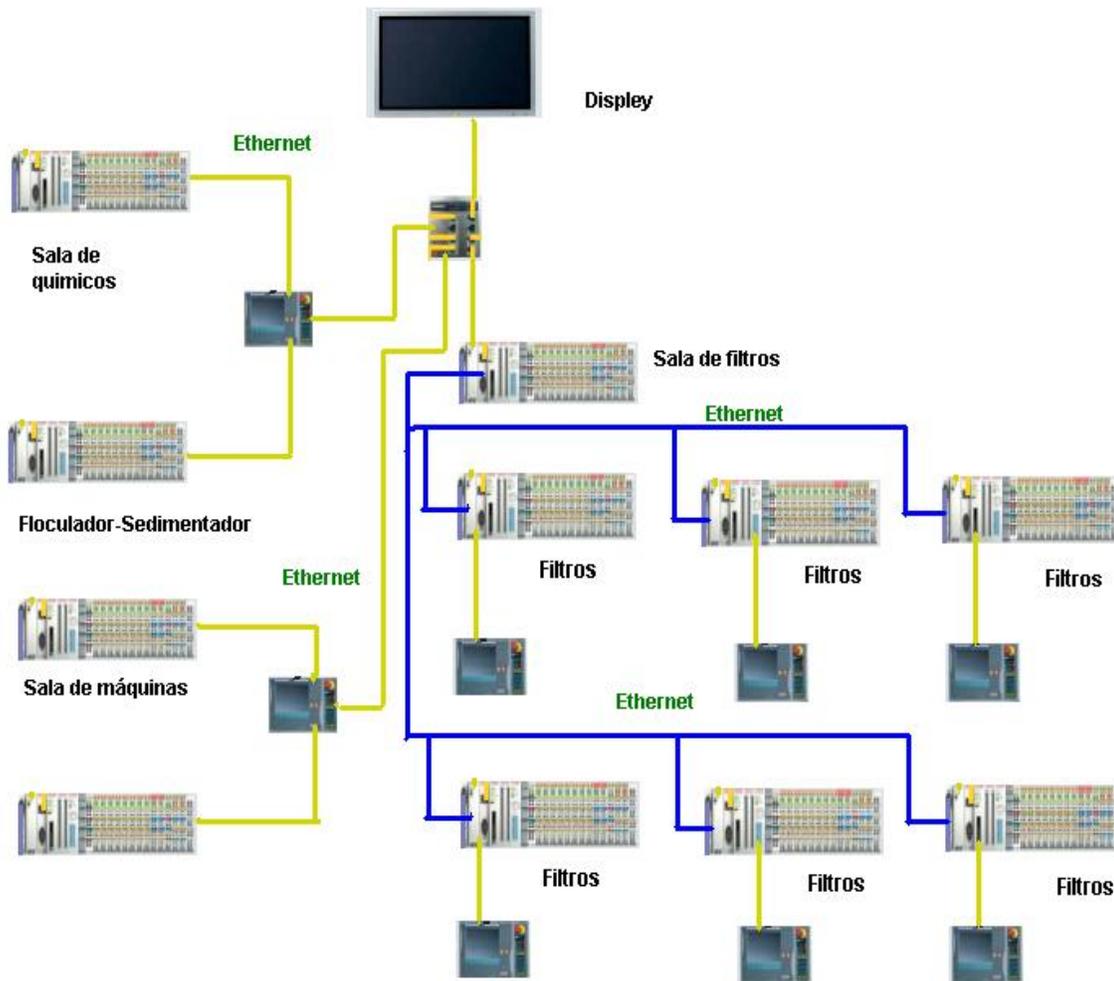


Figura 3. 4 Esquema de automatización.

### 3.1.3 Características principales del PLC Master K-120K.

Los PLC Master K-120S son una serie extremadamente compacta, con un alto nivel de aplicaciones y funcionalidad para ello cuenta con las siguientes condiciones que le permiten desempeñarse satisfactoriamente en sus funciones,(L.S., 2005):

- Alta velocidad de procesamiento 0.1~0.9 s/paso
- Presenta puertos de comunicación RS-232 y RS-485, pudiéndose conectar con dispositivos externos.
- Permite la comunicación profibus
- Salida de 24 V DC por sus entrada/salidas

- Tensión de alimentación autorregulable de 85-264V AC
- Posibilidad de construcción de función de control PID.
- El dispositivo que cuenta con la unidad central de tipo K7M-DRT/DT20U:
  - Cuenta con 12 puntos de entrada, ocho de ellas analógicas y el resto digitales
  - Dotado de 8 salidas, 4 analógicas y 4 digitales.

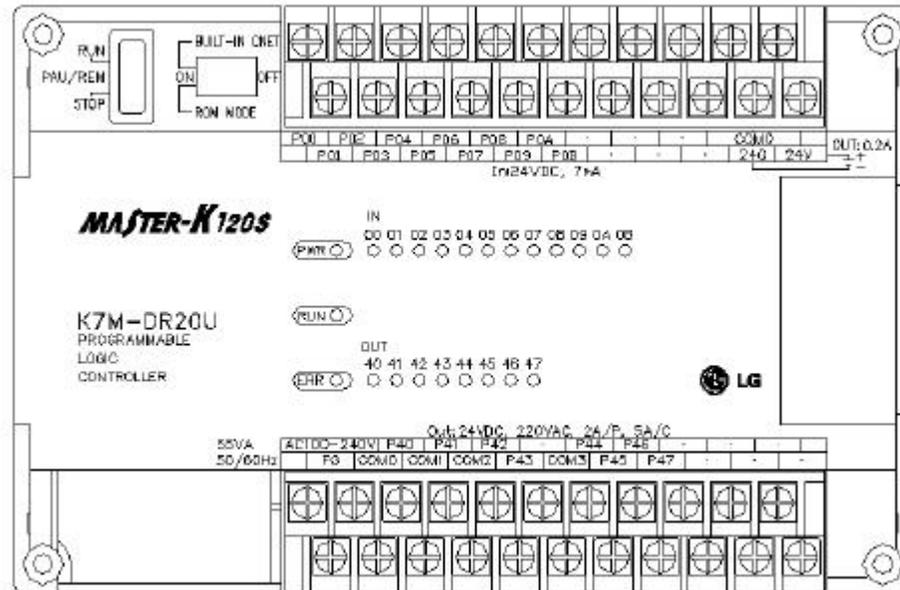


Figura 3. 5 Unidad de km-drt/dt20u.

- El dispositivo que cuenta con la unidad central de tipo K7M-DRT/DT30U:
  - Presenta 18 entradas, doce analógicas y seis digitales.
  - Teniendo 12 salidas, seis analógicas y seis digitales.

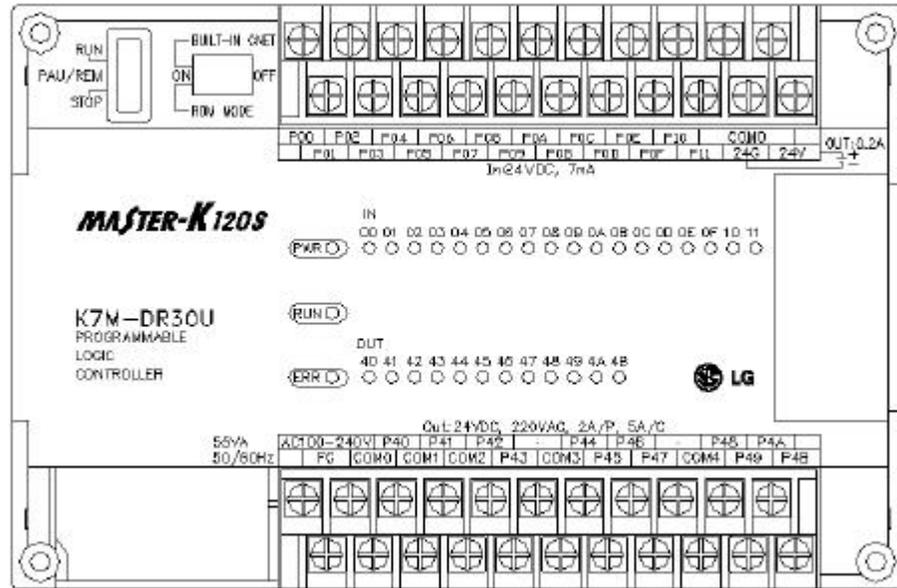


Figura 3. 6 Unidad de km-drt/dt30u.

A continuación se presenta la arquitectura interna de Master K-120S

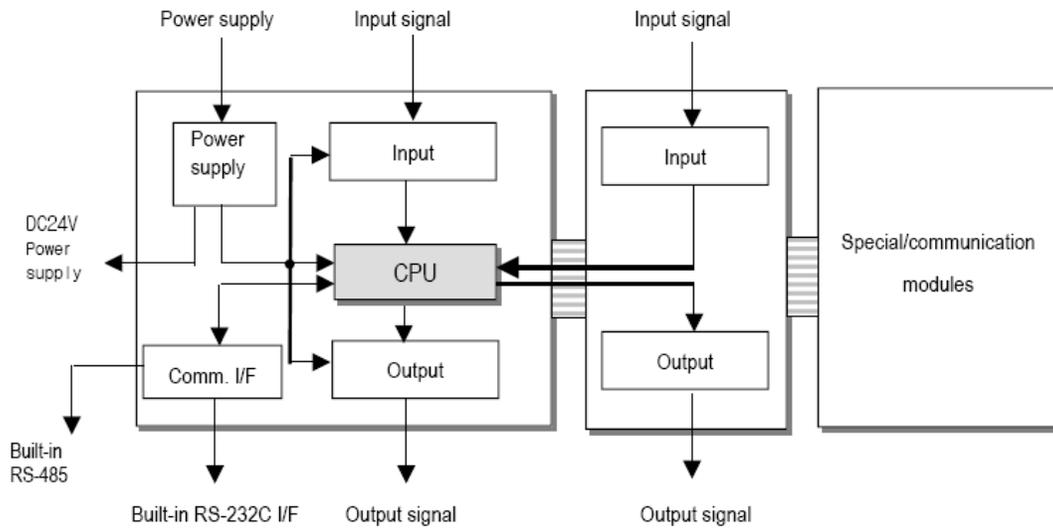


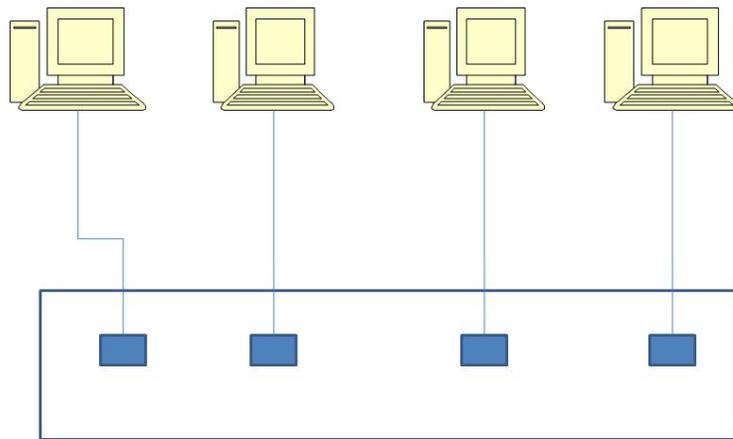
Figura 3. 7 Estructura del PLC.

### 3.1.4 Interfases de comunicación Ethernet.

Como parte de la evolución de Ethernet surge Fast Ethernet que brinda una mayor velocidad en la comunicación. Al principio sólo se utilizó en el ámbito no industrial, pero a medida que se fueron conociendo sus ventajas y aumentando sus prestaciones ha migrado al sector industrial convirtiéndose en uno de los más usados hoy en el mundo.

Las Redes Ethernet permiten interconectar PLCs, PCs industriales convencionales, dispositivos de entrada/salida y otros Interfases hombre-máquina brindando una alta disponibilidad, garantizando seguridad en la comunicación.

La topología en estrella posibilita que todos los nodos estén conectados a un nodo central. Brinda facilidades para añadir nuevas estaciones y la rotura de un cable afecta sólo a un usuario. Como inconveniente tiene mucho cableado y si falla el computador central se inutiliza la red. La topología de estrella es la típica de Fast Ethernet.



**Figura 3. 8 Topología estrella con conmutador.**

#### ➤ Niveles según Modelo OSI

Las Redes Ethernet industriales son compatibles con los niveles 1, 2 y 3 del Modelo OSI, como se muestra en la figura siguiente:

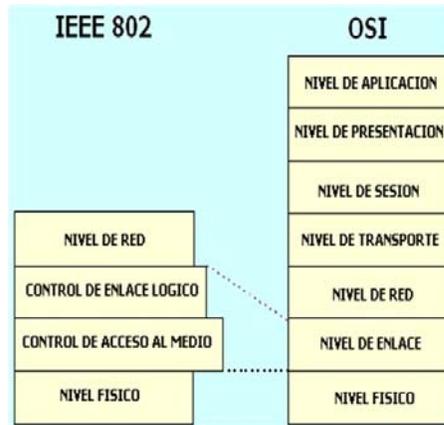


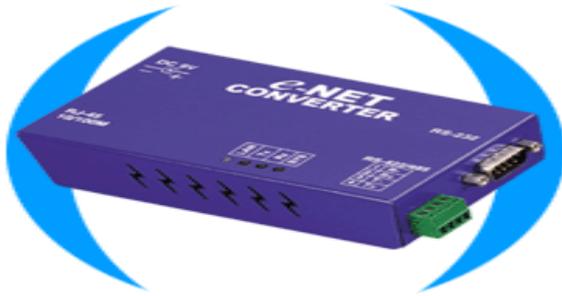
Figura 3. 9 Correspondencia entre red ethernet y modelo OSI.

### ➤ Protocolos

Utiliza el ISO y el TCP/IP. EL ISO está optimizado para la transferencia de variables por ejemplo servicio y observación. El TCP/IP es el estándar de-facto, sirve para la transferencia de grandes cantidades de datos por ejemplo, ficheros o recetas. Con el empleo de este bus de campo, en un futuro se pudiera acceder a datos en tiempo real de la planta desde la propia empresa sin tener que realizar modificación alguna en la planta. Para el uso satisfactorio de este bus, con la instrumentación seleccionada es necesario el uso de un convertidor de medio en este caso se propone el uso de **E-net** de la firma Hundure dotado de las siguientes características:

- Puede ser controlado desde la red o de forma individual.
- Altas velocidades de transferencia de 10/100 M bps
- Conversión a TCP/IP
- Equipado de terminales RS-232 / RS-422 / RS-485
- Función de perro guardián.

Tabla 3. 1 Características del convertidor de medio.

**e-P132x TCP / IP Converter**

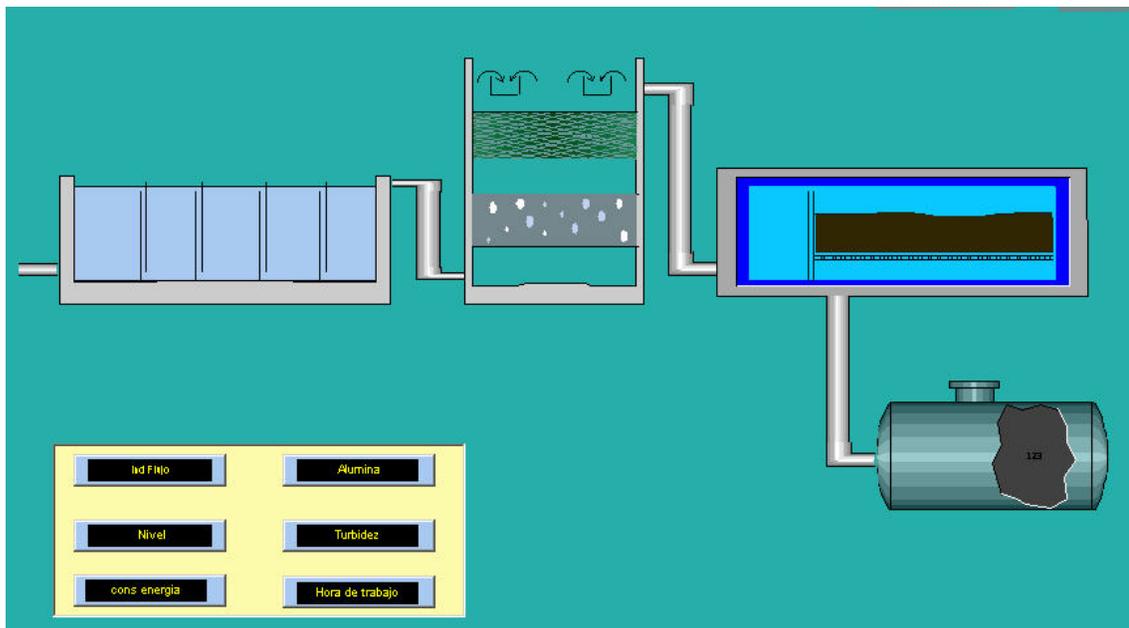
| HARDWARE                   |  |
|----------------------------|--|
| CPU                        | 32-bit ARM7, 33 MHz                        |
| RAM                        | 2 MB (1M * 16bits)                         |
| ROM                        | 128KB                                      |
| Interfases de comunicación | LAN:RJ-45<br>Conector COM: RS-232 / RS-485 |
| ELECTRICAL                 |  |
| Voltaje de operación       | DC 9V, 500mA                               |
| Consumo de energía         | 4.5W (max)                                 |
| Baud rate                  | 300bps~115.2Kbps-N-8-1                     |
| ENVIRONMENTAL              |  |
| Temperatura de operación   | 0 ~55 / 32 ~131                            |
| Humedad relativa           | 5%~95% (Non condensing)                    |
| PHYSICAL                   |  |
| Dimensiones                | 115mm(W) x 70mm(D) x 30mm(H)               |
| Peso                       | 150g                                       |

### 3.2 Estructura general del sistema supervisor diseñado.

Como ya se había especificado anteriormente, se trabajará con el software Movicon X2 para la realización de una pequeña aplicación SCADA.

El diseño que se propone tiene como peculiaridad estar dividido en diferentes pantallas, que responden a cada uno de los procesos tecnológicos presentes en la planta.

Contando con una pantalla de inicio, como se muestra en la figura 3.10 donde se refleja una vista general de todos los procesos sin entrar en detalles, solo brindando la facilidad de llegar a cada uno de los procesos en particular, con solo un clic; además de contar con una barra de menús que brinda también la facilidad de desplazarse por los distintos procesos de la planta, facilidad que estará presente en todas las pantallas de este proyecto.



**Figura 3. 10 Pantalla de vista general.**

Los sinópticos son un reflejo de los procesos reales que tienen lugar en una planta de tratamiento de agua potable, en cada una de las pantallas alusivas a cada uno de los procesos específicos se utilizó un grupo de técnicas para presentar la información

- En el floculador se reflejan las distintas etapas de mezclado con su respectivo mezclador indicando el estado en que se encuentra.
- Utilización de la técnica de los colores para reflejar el estado de los motores y mezcladores, gris cuando está apagado y verde cuando está encendido.

- Diseño de un cuadro brindando la información de distintos parámetros fundamentales a conocer en cada proceso en particular, utilizándose la propiedad de animación del texto que se presenta.
- Se tiene en cuenta la posibilidad de brindar al operador, la elección del funcionamiento manual o automático de los mezcladores y motores.
- Reflejando también el estado de la comunicación entre los distintos dispositivos a los que hacen alusión y los PLC,
- Se cuenta con un botón de emergencia que paraliza el proceso de forma inmediata tras la ocurrencia de alguna anomalía.

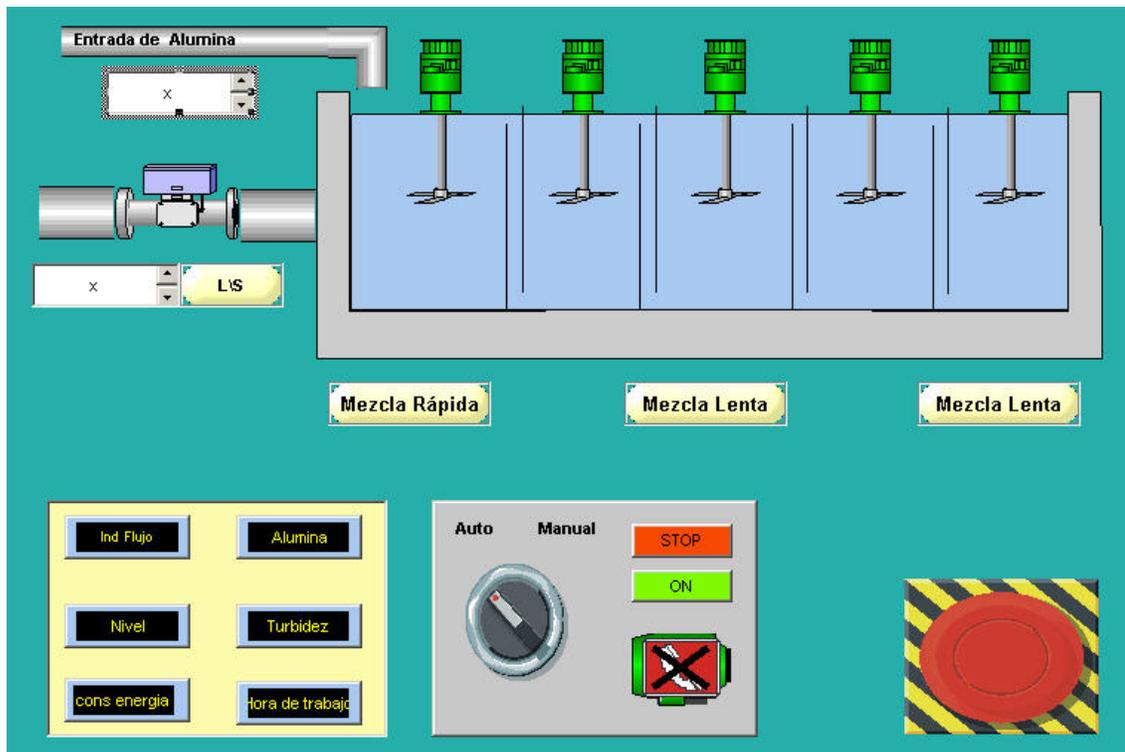


Figura 3. 11 Mímico de uno de los procesos.

Las posibles alarmas presentes en cada uno de los procesos cuentan con un tratamiento particular para ellas, sin importar el área tecnológica a la que pertenezca recibirá un trabajo con las siguientes características:

- Tienen un tratamiento en pantalla independiente.
- Utilización de la técnica del color para resaltar la información
- Usar el sonido para llamar la atención del operador;
- Proporciona datos como la fecha y hora en que ocurrió la alarma además del tiempo que estuvo activada.

### **3.3 Análisis Económico.**

El análisis económico de este trabajo proponemos desarrollarlo sólo valorando la incidencia en la adición en el monto monetario de la inversión que se ejecuta, no consideramos necesario realizar un análisis de ahorro o de la amortización de dicha inversión, por no ajustarse a la realidad del desarrollo del propio proyecto, ya que el mismo no aporta disminución de los costos del proceso y el producto (agua tratada) no se comercializa. El principal aporte es el significativo incremento en la estabilidad del proceso y la calidad del agua que se entrega, representando el aumento de los costos en los equipos a instalar de solo el 10 % del valor ya invertido, si consideramos el valor de la obra completa (construcción, montaje y puesta en marcha) este es despreciable, lo cual aprueba su factibilidad de aplicar en el programa de desarrollo y rehabilitación de las redes y plantas potabilizadoras que lleva a cabo el país.

El proyecto de la planta potabilizadora realizado por la EIPH VC, sin ningún nivel de automatización, requiere para su funcionamiento un valor de \$934,761.23 en equipamiento según presupuesto presentado a la inversión y el valor estimado de los nuevos equipos que requiere la automatización propuesta es de \$89,893.00, a continuación se presenta el listado de dicho equipamiento:

**Tabla 3. 2 Listado de equipos.**

| <i>Descripción</i>           | <i>U/M</i> | <i>Cant.</i> | <i>Precio Unitario</i> | <i>Precio Total</i> |
|------------------------------|------------|--------------|------------------------|---------------------|
| PLC Waster K 120S DRT 20V    | U          | 6            | \$143.00               | \$858.00            |
| PLC Waster K 120S DRT 30V    | U          | 2            | \$174.00               | \$348.00            |
| Sensor nivel                 | U          | 17           | \$660.00               | \$11,220.00         |
| Sensor Turbidez              | U          | 13           | \$3,060.00             | \$39,780.00         |
| Transductor turbidez         | U          | 13           | \$75.00                | \$975.00            |
| Convertidor RS485/ ethernet  | U          | 1            | \$140.00               | \$140.00            |
| Actuador de válvula          | U          | 42           | \$756.00               | \$31,752.00         |
| Cables red (caja de 300 m)   | caja       | 1            | \$140.00               | \$140.00            |
| Cable 18                     | rollo      | 2            | \$100.00               | \$200.00            |
| Paneles 800x600x250          | U          | 4            | \$150.00               | \$600.00            |
| Material de montaje de panel | U          | 4            | \$120.00               | \$480.00            |
| Computadora                  | U          | 1            | \$700.00               | \$700.00            |
| Puesta en marcha             |            | 1            | \$2,700.00             | \$2,700.00          |
| <b>Valor Total</b>           |            |              |                        | <b>\$89,893.00</b>  |

### **3.4 Conclusiones parciales.**

Con el desarrollo de este capítulo se definen los recursos necesarios para implementar la automatización de la planta, además de hacer uso de las características del Movicon en cuanto a la posibilidad de realizar potentes y compactos sistemas de supervisión, mostrando una agradable interfaz Hombre-Máquina. El diseño del mímico del proceso presenta la información de forma clara y precisa, además de la posibilidad de detallar información de cada objeto, buscar otros datos y controlar el funcionamiento. Se valora de factible la implementación del proyecto de automatización pues solo representa un incremento del 10% del valor del equipamiento y es despreciable con respecto al valor de toda la inversión (construcción, montaje y puesta en marcha), considerándose de gran valor el mejoramiento de la estabilidad del proceso y calidad del agua entregada.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Los siguientes puntos reflejan de forma precisa el cumplimiento de los objetivos trazados para este trabajo: Se logró obtener una concepción completa para lograr la automatización de la planta, la actualización del nivel de automatización con que cuentan estos tipos de plantas en la actualidad y como trabajan los sistemas que tiene implementados, se obtuvo la relación de las variables para lograr el funcionamiento del sistema de control automático y la lista de productos necesarios para implementarlo.
2. El Movicon ofrece la posibilidad de realizar potentes y compactos sistemas de supervisión, mostrando una agradable interfaz Hombre-Máquina, siendo un adecuado sistema para lograr la automatización de estos procesos de potabilización de agua, donde el diseño del mímico presenta la información de forma clara y precisa, además da la posibilidad de pormenorizar información de cada objeto, buscar otros datos y controlar el proceso.
3. Se valora de factible la implementación del proyecto de automatización pues sólo representa un incremento del 10% del valor del equipamiento y es despreciable con respecto al valor de toda la inversión (construcción y montaje), considerándose de gran valor el mejoramiento de la estabilidad del proceso y calidad del agua entregada.

**Recomendaciones**

- Es necesario dar continuidad a este proyecto realizando las pruebas de campo y ajustes pertinentes.
- Se debe proponer a las empresas de proyecto de plantas potabilizadoras, en particular EIPH V.C., la implementación de este nivel de automatización en los futuros proyectos que se desarrollen.

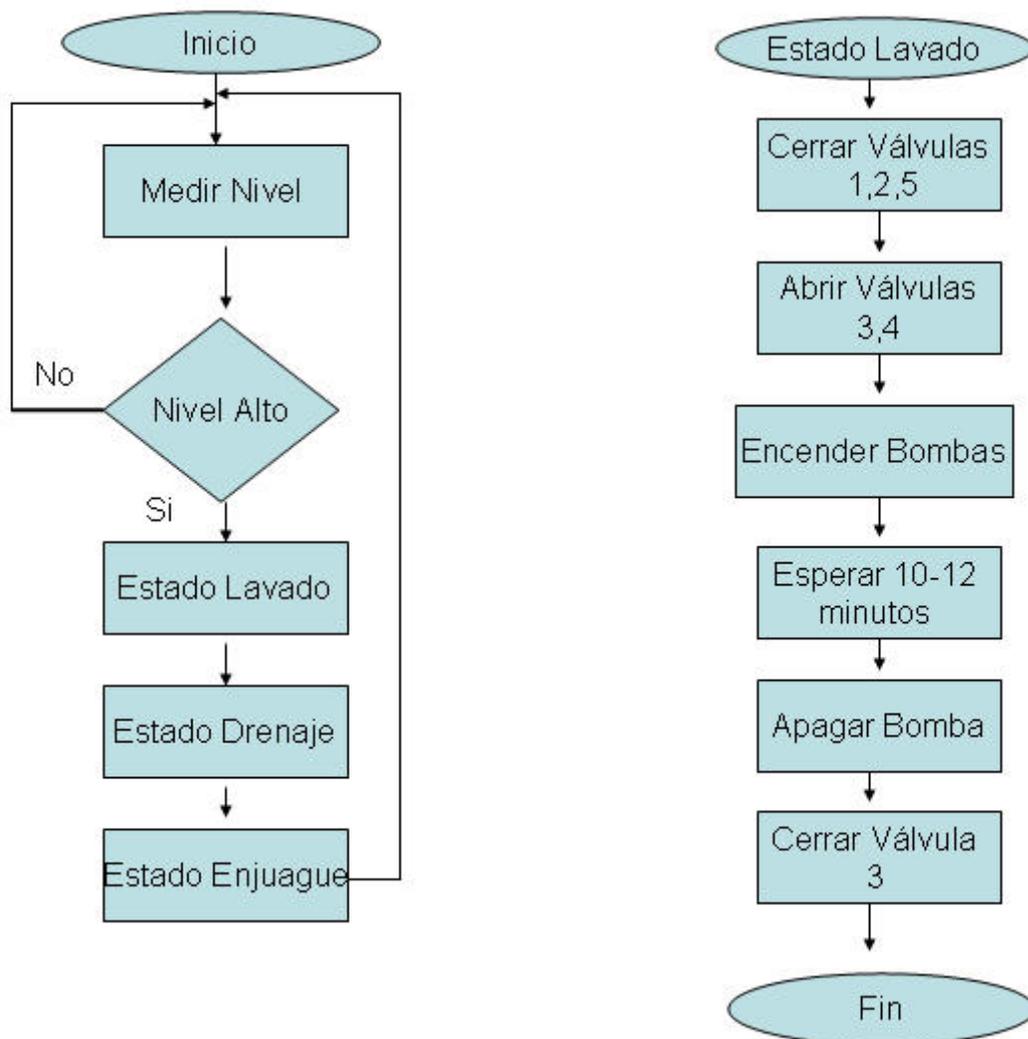
**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA**

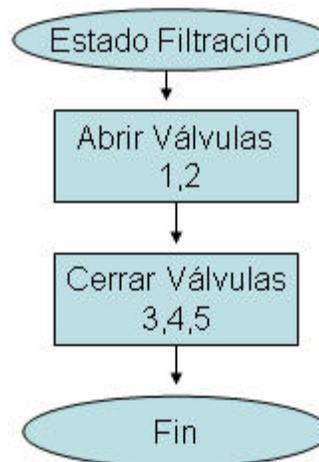
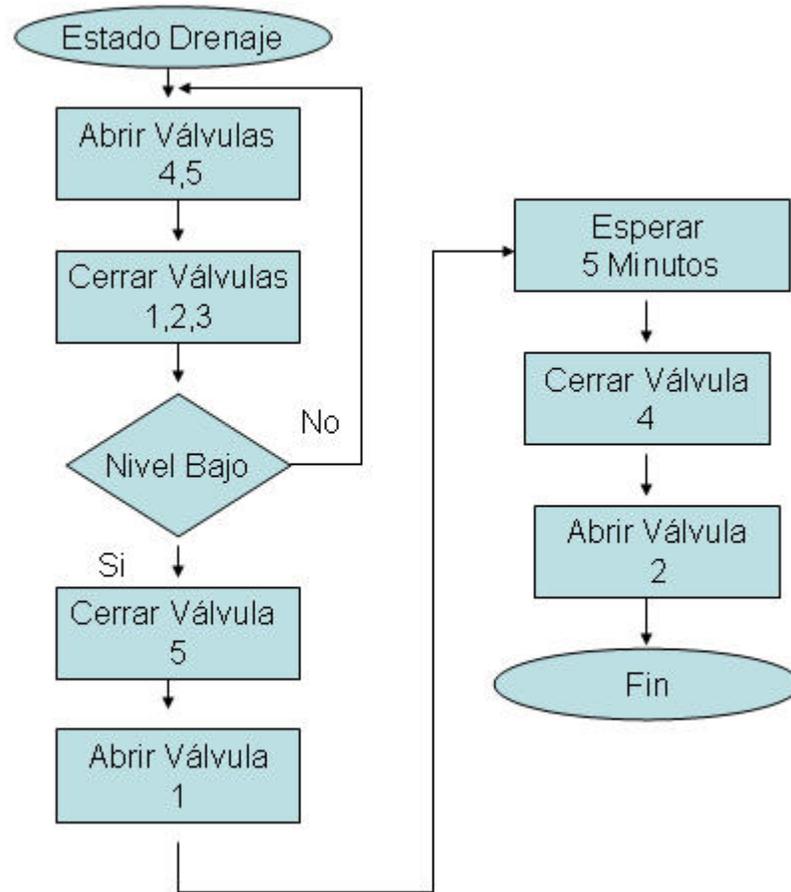
- ADESOFTE (1995). **Automatismo y control de una planta potabilizadora de agua** [Internet]. Disponible en: [www.adasoft.es:81/adasoft/index.php/noticias/27-home/48-emaya](http://www.adasoft.es:81/adasoft/index.php/noticias/27-home/48-emaya) - Consultado: 2/2/09
- AGUAS, C. (2007). **Informe de vista Centro aguas**. [Internet]. Disponible en: <http://eitingeneria.com/CentroAguas/Informe%20visita%20CentroAguas.doc>. Consultado: 2/02/09 2009
- AMBROSE, A. (2004) **Sistema de supervisión y control del pasteurizador en la cervicería "Antonio Diaz Santana"**. Tesis Pregrado, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- CASTRO, R. (2008) DISCURSO POR EL ANIVERSARIO 55 DEL ASALTO A LOS CUARTELES MONCADA Y CARLOS MANUEL DE CÉSPEDES (26 DE JULIO DE 2008) **Granma**,
- CIFUENTES, O. (2007) Potabilización de agua 10-2-09, ENOHTA,
- CORP., C. (2009). **Válvulas de Control**. [Internet]. Disponible en: [www.centork.es](http://www.centork.es). Consultado: 25-03-09
- DEGRÉMONT (1979) **"Manual técnico del agua"**. Cuarta edición en español. Degremont
- ENDRESS+HAUSER (2007) **Catálogo de Productos**, Endress+Hauser. [en línea]. Disponible en: [www.globalspec.com/Supplier/Catalog/EndressandHauser](http://www.globalspec.com/Supplier/Catalog/EndressandHauser). Consultado: 10-2-09
- FERNÁNDEZ, J. (1997) **Manual de potabilización de aguas**. La Habana, Pueblo y Educación.
- GONZÁLES, O. (2001) **"Diseño hidráulico de plantas potabilizadoras"**. Tesis Maestría, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría
- HERRERA, F. (1990) **Proyectos de Automatización**. Santa Clara, Pueblo y Educación.
- JOHNSON, Y. (2002) **"Evaluación de la fuente de abasto, Selección y diseño del sistema de potabilización para el polo turístico Maguara"** Tesis Maestría, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría
- KAMP, W. V. D. (2005) **Teoría y practica de medición de niveles**. Endress+ Hauser.

- L.S. (2005) **Master-K120S User`s Manual**. [en línea]. Disponible en: [www.lsis.biz](http://www.lsis.biz). Consultado: 25-2-09
- MENÉNDEZ, M. (2007) "Consideraciones sobre el diseño de filtros a presión para plantas potabilizadoras. Estado del arte en Cuba". *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*. Ciudad de La Habana.
- PC-CONTROL (2005). **Automated system control for water treatment plant**. [Internet]. Disponible en: [www.pc-control.net](http://www.pc-control.net). Consultado: 2/2/09 2009
- RAMOS, J. (2007) Proyección planta potabilizadora Palmarito. *No publicado*. Santa Clara, EIPH V.C.
- RIVERA, F. (2007) Un decálogo para obtener AGUA SEGURA. *Voluntad Hidráulica*. Cuba, Órgano oficial del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
- SOLÍS, M. D. C. F. (2007) Control de calidad de las aguas urbanas. *Tecnología del Agua*. Barcelona España, Prensa XXI.
- SOLUMANASRL (2007). **Automatización de Plantas Degremont**. [Internet]. Disponible en:  
[http://www.solumanasrl.com.ar/indice.php?page\\_id=38](http://www.solumanasrl.com.ar/indice.php?page_id=38). Consultado: 2/2/09

## ANEXOS

## Anexo I Diagrama en bloque de programación del PLC de bloque de los Filtros





Anexo II Diagrama de flujo de procesos.

