

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería en Electrónica**



**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
AyA**

**Diseño de estaciones modelo de telemetría como guía para  
su implementación en el sistema SCADA del AyA**

**Informe final de Proyecto de Graduación para  
optar por el título de Ingeniero en Electrónica  
con el grado académico de Licenciatura**

**Alberto José Suárez Vargas**

**Cartago, Enero del 2005**

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA  
PROYECTO DE GRADUACIÓN  
TRIBUNAL EVALUADOR**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

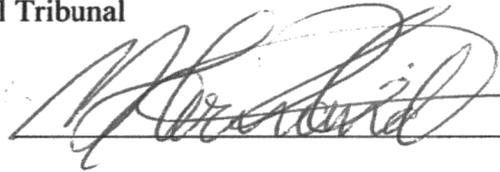
Miembros del Tribunal



---

Ing. Marvin Hernández Cisneros

Profesor lector



---

Ing. Néstor Hernández Hostaller

Profesor lector



---

Ing. Victorino Rojas Madrigal

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 25 de enero, 2005

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

San José, 27 de Enero del 2005



Alberto José Suárez Vargas

Céd.: 6-0307-0289

## Resumen

El proceso de automatización de las estaciones remotas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, se ve limitado por el complicado proceso de licitaciones para realizar compras, donde no se ha seguido ningún manual de especificaciones técnicas que indique el equipo necesario para las estaciones así como las características técnicas que deben cumplir los equipos por instalar.

El encargado de este proceso es el Departamento de Control Operacional, el cual propuso que se elabore un documento en el que se definan las características técnicas que deben cumplir los equipos a instalar en las estaciones típicas, necesarios para el monitoreo de variables y automatización. De esta manera las personas encargadas del diseño de los planos y construcción de las estaciones contarán con un documento de apoyo.

También se requiere un diseño para el gabinete de telemetría, donde se indique la ubicación de los componentes dentro del mismo.

Para la realización de este proyecto, se realizaron visitas a diferentes tipos de estación, se hicieron entrevistas a los ingenieros encargados de las estaciones, se revisaron manuales y libros de texto, de manera que se logró tener una idea clara de los requerimientos de la institución, para elaborar dicho manual de especificaciones técnicas.

Palabras clave: Automatización, Telemetría, Departamento de Control Operacional, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Gabinete, Manual de Especificaciones Técnicas.

## Abstract

In the automation process in the remote stations of the Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, hasn't been followed a technical specification's manual which indicate the minimum necessary equipment for these stations and the characteristics that the equipment have to fulfill. This process is limited by the licitation's process for buying (because is an public institution).

The department in charge of this process is the Operational Control's Department, it proposed to elaborate a document where these technical characteristics have to be defined that the equipment have to fulfill, to be installed in the typical stations, necessary for the variables monitoring and automation. The purpose is to serve as a guide for the people in charge of the planing and station's building.

A design for the telemetry's cabinet is also required, where have to be sowed the components location inside of it.

To realice this project, different kinds of stations has been visited, interviews to the engineers in charge of the stations has been made, text books and manuals have been checked, to obtain a good idea of the requirements of the institution, to proceed to elaborate this technical specification's manual.

Keywords: Automation, Telemetry, Operational Control's Department, Costa Rican Institute of Aqueducts and Sewages, Cabinet, Technical Specification's Manual.

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto a la memoria mi padre, Carlos Alberto Suárez Badilla, que en paz descanse, a la mujer de mi vida, Keilyn Carranza Pacheco, por todo su apoyo y comprensión brindado a lo largo de este proyecto y a lo largo de los años, y por último, a mi hijo que está por nacer, ya que todo este esfuerzo fue motivado principalmente por la alegría de este nuevo ser.

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por permitirme llegar a este momento culminante en mi carrera, a mi madre, María Jesús Vargas V., y a mis hermanos Carlos Andrés y María Amalia Suárez Vargas por su apoyo brindado a lo largo de los años, y por último quiero agradecerle al personal del Centro de Control Operacional del AyA en la Uruca, en especial al Ing. Rodrigo Meneses por darme la oportunidad de realizar este proyecto.

## INDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción .....	1
1.1 Problema existente e importancia de su solución.....	1
1.2 Solución seleccionada.....	4
Capítulo 2: Meta y Objetivos .....	6
2.1 Meta.....	6
2.2 Objetivo General.....	6
2.3 Objetivos Específicos .....	6
Capítulo 3: Marco Teórico .....	8
3.1 Estudio del problema a resolver .....	8
3.1.1 Estación tipo bombeo.....	8
3.1.2 Estación tipo planta de tratamiento .....	11
3.1.3 Estación tipo tanque de almacenamiento .....	13
3.1.4 Estación tipo electroválvulas.....	17
3.1.5 Estaciones en general.....	18
3.2 Antecedentes bibliográficos.....	22
3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.....	24
Capítulo 4: Procedimiento metodológico.....	25
4.1 Reconocimiento y definición del problema .....	25
4.2 Obtención y análisis de información .....	25
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución .....	30
4.4 Implementación de la solución .....	31
4.5 Reevaluación y rediseño .....	31
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución.....	33
5.1 Análisis de soluciones y selección final.....	33
5.2 Descripción del software.....	38
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones .....	41
6.1 Conclusiones.....	41
6.2 Recomendaciones.....	41
Referencias Bibliográficas.....	42

Apéndices .....	43
Apéndice A.1  Glosario, abreviaturas y simbología .....	43
A.1.1  Glosario de términos.....	43
A.1.2  Abreviaturas .....	44
A.1.3  Simbología.....	44
Apéndice A.2  Manual entregado a la empresa.....	45
Apéndice A.3  Información sobre la institución .....	64
A.3.1  Descripción de la institución .....	64
A.3.2  Descripción del departamento en que se realizó el proyecto .....	64
A.3.4  Antecedentes prácticos .....	65
Apéndice A.4  Fotografías de las giras a diferentes estaciones. ....	66
Anexos .....	79
Anexo B.1  Especificaciones técnicas de los equipos .....	80
Anexo B.2  Características eléctricas del equipo de bombeo.....	84
Anexo B.3  Instructivo de plantas de tratamiento de filtración rápida .....	87
Anexo B.4  Parámetros de calidad del agua establecidos para Costa Rica ....	99

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.1	Esquema del proceso de suministro de agua .....	4
Figura 3.1.1.1	Sensor de caudal en el bombeo de Puente de Mulas.....	9
Figura 3.1.3.1	Medidor mecánico de nivel de tanque.....	15
Figura 3.1.3.2	Transductor de presión y campana receptora de presión.....	15
Figura 3.1.5.1	Gabinete con equipo de radio.....	19
Figura 3.1.5.2	Gabinete con PLC.....	20
Figura 3.1.5.3	Esquema de los principales elementos presentes en una estación remota.....	21
Figura 3.2.1	Medidor de nivel tipo radar de onda guiada .....	23
Figura 3.2.2	Medidor de presión compacto.....	24
Figura 5.1.1	Primera propuesta para la disposición para el equipo .....	35
Figura 5.1.2	Segunda propuesta para la disposición para el equipo.....	36
Figura 5.1.3	Tercer propuesta para la disposición para el equipo.....	37
Figura 5.2.1	Diagrama de flujo de la programación presente en un PLC.....	39
Figura A.4.1	Tanque y bombeo de la estación remota.....	66
Figura A.4.2	Control para bombas y estación de telemetría .....	66
Figura A.4.3	Estación de telemetría .....	67
Figura A.4.4	PLC con módulo analógico.....	67
Figura A.4.5	Estación de bombeo Puente de Mulas .....	68
Figura A.4.6	Bombeo y control del bombeo .....	68
Figura A.4.7	Control manual ON/OFF de las bombas.....	69
Figura A.4.8	Panel de control de parámetros de operación para el bombeo .....	69
Figura A.4.9	Tubo de toma de agua del pozo de filtración de agua.....	70
Figura A.4.10	Túnel del pozo de filtración de agua.....	70
Figura A.4.11	Tanque para retención del agua .....	71
Figura A.4.12	Sistema de medición de nivel .....	71
Figura A.4.13	Campana captadora de presión.....	72
Figura A.4.14	Medidor de caudal .....	72
Figura A.4.15	Gabinete del PLC. ....	73
Figura A.4.16	Gabinete para el equipo de Radio-módem .....	73
Figura A.4.17	Tanque Bello Horizonte 1 .....	74

Figura A.4.18	Tanque Bello Horizonte 2 .....	74
Figura A.4.19	Electro válvula junto con dos válvulas mecánicas. ....	75
Figura A.4.20	Medidor de caudal .....	75
Figura A.4.21	Control de electroválvula y gabinete del PLC. ....	75
Figura A.4.22	Poste primario de electricidad a 30 m de las válvulas .....	76
Figura A.4.23	Ingeniero Eduardo Rocha abriendo contenedor del medidor de caudal. ....	76
Figura A.4.24	Contenedor del medidor de caudal.....	77
Figura A.4.25	Tubería con medidor de caudal mecánico-eléctrico. ....	77
Figura A.4.26	Medidor de caudal mecánico con salida digital.....	78
Figura A.4.27	Válvulas mecánicas .....	78

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.1	Principales etapas de la construcción de la red SCADA con su respectivo costo .....	2
Tabla 3.1.1.1	Estaciones de bombeo con accionamiento por telemando .....	11
Tabla 3.1.2.1	Parámetros permitidos por la OMS de sustancias en el agua, para CR.....	12
Tabla 3.1.3.1	Tanques implementados y no implementados en el SCADA.....	16
Tabla 3.1.4.1	Electroválvulas incorporadas al sistema SCADA.....	18
Tabla 4.2.1	Resumen de los componentes requeridos por los ingenieros entrevistados para las estaciones remotas .....	29
Tabla 5.1.1	Componentes presentes y requeridos para una estación de telemetría tipo bombeo. ....	33
Tabla 5.1.2	Componentes presentes y requeridos para una estación de telemetría tipo planta de tratamiento.....	34
Tabla 5.1.3	Componentes presentes y requeridos para una estación de telemetría tipo tanque. ....	34
Tabla 5.1.4	Componentes presentes y requeridos para una estación de telemetría tipo electroválvula.....	34
Tabla 5.1.5	Áreas totales para los gabinetes propuestos .....	37
Tabla B.1	Resumen de conjuntos motor - bomba sumergibles.....	84
Tabla B.2	Requerimientos de los equipos para tabla B.1 .....	86



## **Capítulo 1: Introducción**

A continuación, el lector encontrará una descripción general del problema presente en las estaciones de telemetría del Instituto costarricense de Acueductos y Alcantarillados, así como una ubicación del proceso donde se encuentra el problema dentro del sistema SCADA.

### **1.1 Problema existente e importancia de su solución**

El Departamento de Control Operacional del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, en cumplimiento de su misión propuso la implementación del sistema SCADA (del inglés Supervisory Control and Data Acquisition), cuyos objetivos son los de monitorear el nivel de los tanques, el comportamiento de la demanda de agua, registrar y monitorear la producción, controlar la apertura o cierre válvulas, monitorear variables de calidad del agua, realizar racionamientos y maniobras para reducir el impacto de salidas de operación de plantas y pozos, y la de definir y modificar zonas de presión.

Para realizar dichos objetivos, la red SCADA cuenta con un centro de operaciones, donde se encuentra el hardware y software principal encargado de la recolección de los datos de cada una de las estaciones remotas incorporadas al sistema. Esta recolección de datos se hace mediante comunicación por radio en la banda de FM con las estaciones remotas, las cuales contienen una antena para la transmisión de datos, un radio-módem encargado de modular y enviar los datos, un PLC encargado de recibir los datos analógicos desde los transductores, convertirlos en datos digitales y enviarlos al radio-módem, así como de enviar una señal digital que encienda un motor y active o desactive una electroválvula.

El problema existente al que se le va a dar tratamiento se ha generado principalmente por motivos de presupuesto, acompañado del proceso de licitaciones por ser ésta una institución pública. Como no se ha contado desde el principio con los fondos suficientes para agregar el resto de las estaciones remotas a la red SCADA, ni para instalar el software definitivo de dicha red. Entonces esta incorporación se ha estado haciendo poco a poco, conforme se asignan los presupuestos por parte del gobierno y se definen las necesidades de

cada tipo de estación. Por estos motivos las estaciones han sido diseñadas e instaladas en momentos diferentes, por personas y compañías diferentes. Aún se continúa en dicho proceso.

Como un ejemplo de las principales etapas de instalación e implementación del sistema SCADA, se presenta a continuación la tabla 1.1.1, la cual da una pequeña descripción de lo realizado en cada etapa por las empresas contratadas y un costo aproximado de esa implementación.

**Tabla 1.1.1** Principales etapas de la construcción de la red SCADA con su respectivo costo

Etapa	Descripción	Costo (millones)
Adquisición de elementos primarios para macromedición.	Compra de macromedidores, tubos y accesorios	¢120
Implementación de macromedidores	Instalación de macromedidores, tubos de venturi y sus dispositivos.	¢100
Implementación infraestructura de comunicaciones para el SCADA	Adquisición del equipo y accesorios de las 79 estaciones remotas y de las 4 repetidoras. Instalación y puesta en marcha de cada enlace.	¢ 140
Adquisición del Software y Hardware para SCADA	Se decidió comprar el Factory Suite 2000 de Wonderware	¢ 21
Instalaciones del Centro de Control	Construcción de la segunda planta del Edificio de Operaciones.	¢27
Mejoras las estaciones existentes para adecuarse al Software de Wonderware	Se realizaron cambios en los equipos, dispositivos, protocolos y métodos de acceso al canal de las estaciones remotas y maestras	¢11
Consultoría para el diseño y adaptación al Sistema SCADA mediante Wonderware	Capacitación al personal en las nuevas tecnologías y tendencias operativas.	¢ 17
	Capacitación avanzada en Factory Suite a los encargados de mantenimiento, mejoras y Administración del Sistema.	¢ 17
Capacitación avanzada en Factory Suite a los encargados de mantenimiento, mejoras y Administración del Sistema.	Desarrollar mediante el Factory Suite de Wonderware, un SCADA más robusto, eficiente y fácil de manipular, que permita realizar cambios, mejoras e inclusiones de una forma más rápida y mediante el uso de sistemas industriales estandarizados.	¢100

Un ejemplo de la falta de planificación con respecto a los requerimientos en automatización, es el que se han diseñado y construido estaciones a las que ni siquiera se les agregó un toma para la corriente, tal es el caso de los tanques del Alto las Palomas (Pavas), tanques del Psiquiátrico (Pavas) y los tanques de Salitral por ejemplo.

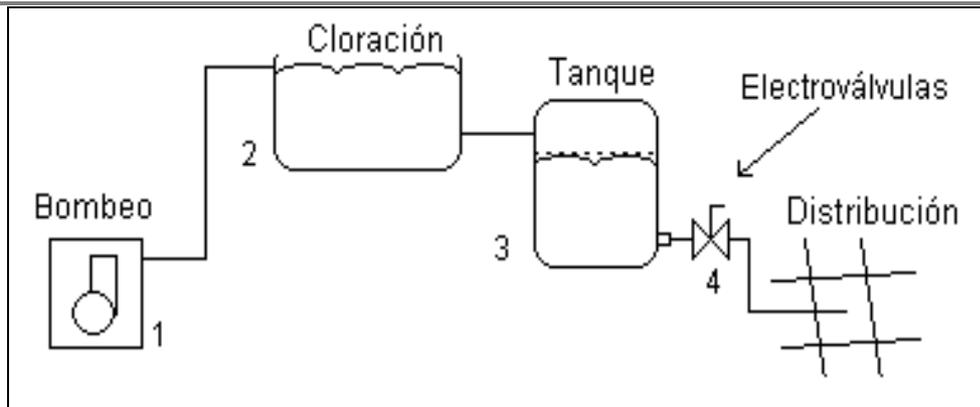
Además, cada compañía que ha ganado una licitación y realizado una implementación al sistema SCADA, ha propuesto, diseñado e instalado su propio diseño, sin preocuparse por dejar detalles de las consideraciones que se hicieron para el diseño del mismo en un manual impreso. Dos de las principales empresas que han ganado las licitaciones para realizar la instalación e implementaciones al sistema SCADA han sido GB Technologies y REICO (redes inalámbricas de Costa Rica, antes denominado SG Soluciones Integrales).

Como se continúa en este proceso de implementación, el Departamento de Control Operacional procura tener un diseño modelo para cada tipo de estación, para que en un futuro cada implementación por realizar en la red SCADA siga este mismo modelo.

Actualmente, hay mas de 80 estaciones remotas, de las cuales unas 75 cuentan con la estación de radio ya instalada, apenas en 35 de ellas se maneja información de los niveles tanques y caudal, o el control de válvulas para la red SCADA, debido a la falta de implementación por motivo de presupuesto, y debido a la falta de un estudio que defina los sensores necesarios en cada tipo de estación, según lo consideren y lo requieran los ingenieros encargados de las estaciones del AyA, para un mejor monitoreo y automatización del proceso de toma y distribución del agua.

Las estaciones existentes a las que se les da cobertura, se pueden diferenciar en 4 tipos diferentes, los cuales son: 1) bombeo de pozos, 2) planta de cloración y tratamiento del agua, 3) tanque y 4) electroválvulas.

Un ejemplo de la representación de la distribución de estas estaciones se muestra en la figura 1.1.1.



PAINT

**Figura 1.1.1** Esquema del proceso de suministro de agua

El objetivo de solucionar este problema es que en lo sucesivo no se dejen por fuera los requerimientos de automatización de las estaciones al realizarse el diseño para su construcción, además de señalar qué tipo de equipo y sensores posee cada tipo de estación, lo cual asegurará un fácil mantenimiento preventivo y correctivo de la misma, además de evitar errores en el cableado, incrementar la seguridad y facilitar la comprensión de la lógica de las conexiones.

## 1.2 Solución seleccionada

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados planteó la elaboración un documento, en el que se definan todas las características técnicas que deben cumplir los equipos de monitoreo de variables y automatización, que se vayan a instalar en cada uno de los 4 tipos diferentes de estaciones típicas, así como un diseño del gabinete para telemetría, donde se indique la ubicación y conexión de los componentes dentro del mismo.

La idea es de que se tenga un modelo de estación de telemetría para cada tipo, que sirva como especificación técnica para adjuntar a los términos de referencia para compras futuras, así como guía para las personas encargadas del diseño de los planos y construcción de las estaciones, como requerimientos de cada estación. Además de servir como modelo para la redacción de futuras licitaciones para los equipos, para evitar que se instale equipo que difiera de las

tecnologías establecidas, simplificando de esta manera el mantenimiento para dichas estaciones.

También se propuso de manera opcional el realizar una programación base para los PLCs, en diagrama de escalera, para el manejo de las variables recibidas de los sensores, y el envío de los datos al sistema de comunicación.

Para cada una de las estaciones, se definieron los sensores con que deben contar para obtener un mayor y mas eficiente monitoreo, para recolectar datos tales como el caudal de agua que sale de cada pozo, caudal a la entrada y salida del tanque de almacenamiento, así como el nivel del tanque y variables eléctricas de los equipos de bombeo por ejemplo. Asimismo, se definió la ubicación de todos los elementos presentes dentro del PLC, y se elaboró una codificación para el cableado dentro del gabinete.

## **Capítulo 2: Meta y Objetivos**

A continuación se presentan las metas y objetivos que se abarcaron durante la elaboración del proyecto.

### **2.1 Meta**

La finalidad de este proyecto es elaborar un documento de recomendaciones a seguir para cuando se proceda a diseñar, construir, implementar y/o modificar una estación remota en el AyA. Esta guía deberá ser de acatamiento obligatorio para los ingenieros encargados de elaborar alguna de las tareas antes descritas.

### **2.2 Objetivo General**

Realizar el diseño de una estación modelo de telemetría para cada uno de los 4 tipos existentes, en el que se indique la ubicación y forma de alambrear cada componente dentro de un gabinete. Además, se especificarán las características que deben cumplir los sensores y equipos que se vayan a conectar, de manera que permita el monitoreo de las variables que definan los ingenieros encargados de montar y dar mantenimiento a las estaciones.

Lo anterior se realiza con la intención de que dichos componentes cumplan con los requerimientos mínimos para su incorporación al sistema SCADA, además de que simplifique los trabajos de mantenimiento de los equipos.

### **2.3 Objetivos Específicos**

-Caracterizar las estaciones típicas existentes en el AyA.

-Definir los sensores necesarios, junto con sus características mínimas para satisfacer las necesidades de monitoreo y automatización por parte de los ingenieros.

-Definir las características del gabinete que va a contener el equipo de telemetría.

-Proponer un diseño para la disposición del equipo y su codificación en el gabinete donde serán montados.

-Elaborar programación base para el manejo de datos en los PLCs.

-Confeccionar un documento que dé las características principales del equipo mínimo necesario para el monitoreo y automatización de las plantas, así como la implementación de los equipos en los diferentes tipos de estación remota.

## **Capítulo 3: Marco Teórico**

En esta sección se presenta un estudio detallado del problema, así como una descripción del sistema del cual forma parte el proyecto.

### **3.1 Estudio del problema a resolver**

Para empezar esta sección, se procedió a definir primero los tipos de estaciones existentes en el AyA, los cuales corresponden a bombeo, planta de tratamiento, tanques y electroválvulas. Por ser un poco amplia la descripción de cada una de ellas, y por aspecto de orden, se dividieron en sub-secciones que se presentan seguidamente:

#### **3.1.1 Estación tipo bombeo<sup>1</sup>**

Las estaciones de bombeo se definen como las estaciones encargadas de obtener el agua de las nacientes y pozos. También son utilizados para darle un impulso adicional al agua (rebombeo), de manera que logre llegar a lugares apartados. Este tipo de estaciones actualmente consisten en una o varias máquinas de bombeo con medidor de caudal de salida, además de los sistemas necesarios para el funcionamiento de las bombas.

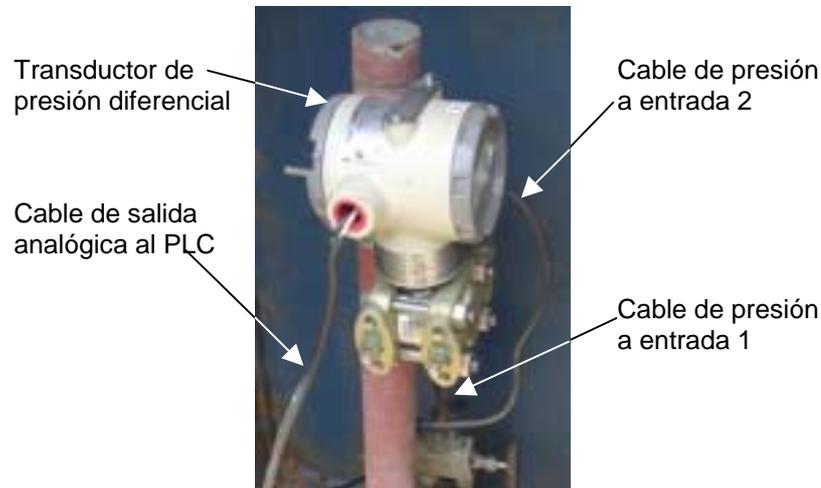
En las fotografías de la visita a Puente de Mulas<sup>2</sup>, se puede apreciar que en esta estación se utilizan 8 equipos de bombeo, con sus respectivos módulos de control, se evidencia que el encendido y apagado de las bombas es manual, y las mediciones de las variables de voltaje y corriente se realizan de forma analógica. El agua que bombea esta estación proviene de filtración a través de varios túneles hechos en la montaña. Además, la estación cuenta con un medidor de nivel para saber la cantidad de agua que han recibido del filtrado, y determinar si tienen que encender o apagar motores para evitar un rebalse o que se vacíe el tanque.

---

<sup>1</sup> Para obtener información de este tipo de estación se entrevistó al Ingeniero encargado del Departamento de Bombeo en el AyA. También se habló de este tema en la entrevista con el Ingeniero a cargo de los operadores del CCO (se presenta un resumen de las entrevistas en la sección 4.2).

<sup>2</sup> Como ejemplo para este tipo de estación, se realizó una visita al bombeo en Puente de Mulas, donde se tomaron fotografías que se incluyeron en la sección de apéndices, en el [apéndice A.4](#), de las figuras A.4.5 a la A.4.11. También se puede tomar como referencia las figuras de la A.4.1 a A.4.4 correspondientes a un tanque y bombeo en la estación de calle nueva en Alajuelita.

En el tubo de salida de agua de la estación se presenta un transductor de presión diferencial cuya función es obtener el valor del caudal generado por dicha estación. Se presenta dicho sensor en la figura 3.1.1.1 :



Editor de imágenes de Word

**Figura 3.1.1.1** Sensor de caudal en el bombeo de Puente de Mulas

La forma en que se mide el caudal con este tipo de sensor, es por medio de la diferencia de presión, los cables conductores de presión 1 y 2 se conectan a dos secciones del tubo con diferente diámetro, esta conexión se puede apreciar en la figura A.4.15. El caudal se calcula a partir de la señal que se dirige al PLC, que varía de 4 a 20 mA según la diferencia de presión. También se toma en cuenta las dimensiones de las secciones de los tubos en que se conectan los cables de presión, y se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q \text{ (Caudal)} = K \sqrt{I} \quad \left\{ \frac{l}{s} \right\} \quad (3.1.1.1)$$

Donde K es una constante que se determina a partir de las dimensiones del tubo en el que se instala el transductor, e I es la salida del transductor que varía de 4 a 20 mA.

Un ejemplo de este cálculo se presenta a continuación:

Para un tubo a la salida de un tanque en la planta de tratamiento de Guadalupe, el K calculado para la estación es de 24.25, si al PLC le llega una lectura de 15 mA desde el transductor, el resultado sería:

$$Q = 24,25 * \sqrt{15} = 97 \frac{l}{s}$$

O sea, el caudal reportado sería de 97 litros por segundo.

De todas las estaciones de bombeo, son pocos los casos en los que se realizan mediciones de voltaje y corriente de las bombas en forma digital. La medición de estos parámetros se puede realizar de dos formas distintas, la primera es que ya vengán incorporadas con la bomba los medidores, por lo que la salida proviene de la misma bomba, y la segunda es por medio de un dispositivo externo que se conecte a la bomba y realice dichas mediciones, como por ejemplo el MID 144 de Siemens, el cual se ha instalado últimamente por el Departamento de Bombeo.

La implementación de la medición de variables en forma digital todavía no se puede aprovechar debido a que no se realiza la recolección ni manejo de los datos en la red, esto se pretende realizar para cuando se tenga el software final para el SCADA.

Para estas estaciones se tiene la problemática de lo apartado que están las tomas de agua (ríos y pozos), ya que se ha dado el caso de que el ICE no puede proporcionar una toma trifásica a 460 V ac, por lo que se ha tenido que conseguir un equipo de bombeo de más baja potencia, que funcione con el voltaje que puede suministrar el ICE, que en los peores casos sería de un monofásico de 120 V ac. Entonces, con respecto al equipo de bombeo, no se podría indicar un único voltaje de alimentación, ya que éste va a depender del suministro de energía eléctrica que esté disponible para cada estación.

A continuación se presenta la tabla 3.1.1.1, la cual presenta un listado de estaciones remotas de bombeo, donde se especifican cuales de ellas se pueden accionar por telemando y cuales solamente se pueden accionar de forma manual.

**Tabla 3.1.1.1 Estaciones de bombeo con accionamiento por telemando**

<b>Implementados</b>	<b>Sin implementar</b>
Uruca	Calle Nueva 2
San Pablo Peq.	San Pablo 1
San Pablo Grande	W2
Rincón Ricardo 1	Chautelle
Rincón Ricardo 2	La Meseta
Los Guido 1	La libertad 1
Los Guido 2	La libertad 2
W1*	La libertad 3
W3*	Booster MATRA
W4*	Registro
W5*	Tabacalera
W6*	Las Monjas
W7*	Brazil de Mora
W8*	Finca de Coronado
W9*	Intel
W10*	La Florida
W11*	
W12*	
W13*	
W14*	
W15*	

\*: Numeración de pozos de la Valencia

Además de los pozos mencionados, existen tres mega estaciones de bombeo, las cuales corresponden a Puente de Mulas 1 y 2, y rebombeo la Uruca.

### **3.1.2 Estación tipo planta de tratamiento<sup>3</sup>**

La función de este tipo de estación, es la de potabilizar el agua que se toma de las nacientes de los ríos, de manera que cumpla con las normas de la OMS, la cual regula los parámetros de las sustancias en el agua potable, por ejemplo regular la turbiedad del agua, color del agua, alcalinidad, pH y cloro residual entre otros, cuyos valores permisibles se presentan en la tabla 3.1.2.1 mostrada a continuación:

---

<sup>3</sup> Para este otro tipo de estación, se entrevistó a la Ingeniera encargada de la planta de tratamiento de Guadalupe (San José). Se puede ver un resumen de esta entrevista en los apéndices, en la sección 4.2. Como ejemplo para este tipo de planta, se realizó una visita a la planta de Guadalupe, de la cual se presentan fotos en la sección de apéndices, en el [apéndice A.4](#), de la figura A.4.12 a la A.4.17.

**Tabla 3.1.2.1** Parámetros permitidos por la OMS de sustancias en el agua, para CR.

Parámetro	Valor recomendado	Valor máximo permisible	Unidades
Turbiedad	1	5	UNT <sup>1</sup>
Color	1	15	mg/l (Pt-Co) <sup>2</sup>
Cloro residual	5		µg/l
pH	7	6 – 7,5	-
Alcalinidad (dureza)	400		mg/l CaCO <sub>3</sub> <sup>3</sup>

<sup>1</sup> UNT: unidades nefelométricas de turbiedad.

<sup>2</sup> Pt-Co: platino-cobalto, unidades de color verdadero.

<sup>3</sup> CaCO<sub>3</sub>: Carbonato de calcio, unidades de dureza.

El proceso de potabilización del agua consiste en varias etapas de tanques de filtración y retención de agua, los cuales cumplen la función de dar tiempo a los técnicos de laboratorio de realizar muestras del agua, para determinar los diferentes tipos de variables ya mencionadas, y así calcular la cantidad de químicos que se deben agregar al agua, durante las diferentes etapas de tratamiento, con el fin de que la misma cumpla con los parámetros sanitarios establecidos por la OMS.

Actualmente en este tipo de estación se maneja en el sistema SCADA solamente el caudal de salida de la planta. Existen 15 plantas de tratamiento y potabilización de agua en el país.

La problemática que presenta este tipo de estación, se presenta a la hora de la automatización de la misma, debido a la cantidad de sensores que se necesitarían para obtener las variables requeridas, y el costo elevado de los mismos (alrededor de los \$10.000). Debido a que la información recopilada por los sensores solamente es de utilidad para los técnicos que trabajan en el proceso de potabilización del agua, y no para los operadores del centro de control, se debería instalar un sistema SCADA o de control para cada estación de este tipo.

Como guía para este tipo de estación, se puede hacer referencia al Instructivo de Plantas de Tratamiento de filtración rápida, elaborado en el AyA, y que se presenta en la bibliografía. En este instructivo se presenta el diseño de una planta potabilizadora, se explican sus partes constitutivas y se habla de la forma en que se le da tratamiento al agua para asegurar que la misma sea potable.

### 3.1.3 Estación tipo tanque de almacenamiento <sup>4</sup>

La función que tienen los tanques en el proceso de abastecimiento de agua, es la de servir como una reserva en el momento en que la demanda sea mayor que el caudal que recibe el tanque. Esto sucede generalmente en la mañana, que es el período de mayor demanda, mientras que en la noche decrece la demanda y el caudal recibido por el tanque es mayor que el caudal de salida de éste.

Se puede definir el caudal aportado por el tanque como la diferencia entre el caudal de entrada y el caudal de salida, siendo positivo cuando el caudal de salida es mayor que el de entrada, y negativo en el caso contrario, en que el caudal de entrada es mayor que el de salida.

Este caudal aportado se puede obtener a partir de las mediciones del nivel del tanque en diferentes tiempos, mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{ap} \text{ (Caudal Aportado)} = - \left( \frac{Nivel1 - Nivel2}{t1 - t2} \right) * \text{Área Tanque} \quad (3.1.3.1)$$

Por ejemplo, para un tanque situado en Pavas, con un área de 280 m<sup>2</sup> las lecturas tomadas por el operador en el centro de control corresponden a 410 cm. a las 9:25 a.m., y otra de 385 cm. a las 9:47 a.m. Entonces el caudal aportado en ese lapso de tiempo sería:

$$Q_{ap} = - \left( \frac{385cm - 410cm}{9:47 - 9:25} \right) * 280000cm^2 = \frac{25cm}{1320s} * 280000cm^2 = 5303 \frac{cm^3}{s} = 5,303 \frac{l}{s}$$

Entonces entre las 9:25 a.m. y las 9:47 a.m., el tanque aportó un caudal de 5,3. Si el resultado fuera negativo, el tanque se estaría llenando.

La medición de este comportamiento es importante obtenerla debido a que aporta una idea de la velocidad con la que se está vaciando o llenando el tanque, permitiendo hacer un estimado del tiempo en que tardaría en vaciarse o llenarse el tanque si se sigue con esta tendencia. Esto permite decidir si se aumenta o

---

<sup>4</sup> Para esta otra estación, se entrevistó al Ingeniero encargado del área de tanques, en el departamento de control operacional. Un resumen de esta entrevista se puede encontrar en la sección de apéndices, en la sección 4.2.

disminuye el bombeo que alimenta dicho tanque, para poder cumplir con la demanda.

Las variables que se miden actualmente en los tanques son el nivel del tanque, y el caudal de entrada o el de salida. Solamente se mide uno de estos dos últimos porque el otro se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{salida}} = Q_{\text{entrada}} + Q_{\text{aportado}} \quad (3.1.3.2)$$

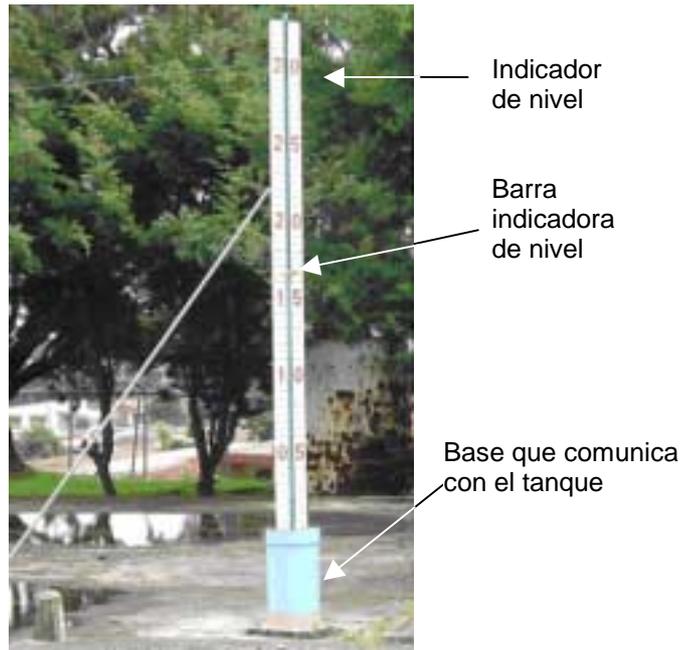
Un ejemplo de este cálculo se presenta a continuación:

Para un tanque situado en San Blas, se tiene que el caudal de entrada son 27 litros por segundo, mientras que el caudal aportado es de -5 litros por segundo, entonces el caudal de salida sería de:

$$Q_{\text{salida}} = 27 + (-5) = 22 \frac{l}{s}$$

O sea, del tanque salen 22 litros por segundo, y como la demanda es menor que la cantidad de agua que entra al tanque, el mismo se está llenando a una razón de 2 litros por segundo.

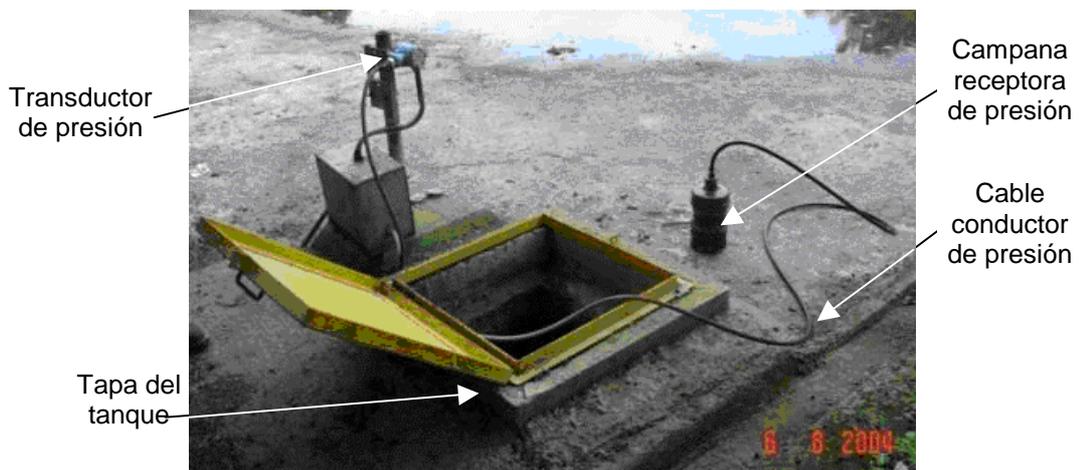
Todas estas variables están incorporadas en su mayoría al sistema SCADA, además del control de las electro válvulas que se puedan situar a la salida de los tanques. La medición de los niveles se realiza en ambas formas, de forma digital mediante un medidor de presión, y de forma mecánica por medio de un objeto que flota, el cual eleva una varilla que apunta hacia el nivel del tanque, tal y como se observa en la figura 3.1.3.1 mostrada a continuación:



Editor de imágenes de Word

**Figura 3.1.3.1** Medidor mecánico de nivel de tanque.

Para la medición de forma digital, se utiliza un medidor de presión y una campana de hierro que debe colocarse de forma que mantenga la mayor cantidad de aire cuando este se sumerja dentro del tanque, para que este aire atrapado reciba la presión del agua del tanque. Los elementos mencionados se presentan en la figura 3.1.3.2 presentada a continuación:



Editor de imágenes de Word

**Figura 3.1.3.2** Transductor de presión y campana receptora de presión.

El dato de la presión obtenida en el transductor es enviado a un PLC, el cual le da tratamiento a la señal para darle valores entendibles en forma de nivel del

tanque y la envía al equipo de radio, quien manda dicho dato a la estación central, para su manejo en el sistema SCADA.

Para la obtención del nivel del tanque a partir de la lectura del transductor de presión se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Nivel} = K \cdot I + C \quad (3.1.3.3)$$

Donde K es una constante característica de cada tanque, que se determina realizando mediciones en cada uno de las tanques con el tanque lleno y luego vacío, I es el valor de la corriente que llega al PLC con un valor de 4 a 20 mA, y C es una constante que sirve para ajustar el cruce por cero.

Un ejemplo de este cálculo se presenta a continuación:

Para una lectura de 11,2 mA de un transductor instalado en un tanque de La Valencia, cuya K es de 24,73 y el valor de C es 5cm, el nivel para el tanque sería:

$$\text{Nivel} = 24,73 \cdot 11 - 5 = 272 \text{ cm.}$$

A continuación se presenta una lista de los tanques supervisados por el centro de control operacional de La Uruca.

**Tabla 3.1.3.1** Tanques implementados y no implementados en el SCADA

<b>Funcionando</b>	<b>Sin función</b>
Bello Horizonte	Granadilla
Uruca 1	Veracruz
La Finca	La Pelota
Curridabat	Los Guidos
Del Sur	Guatuso
Coronado	Salitral
Guadalupe	La Meseta
Pavas	Calle Nueva
Sabanilla	San Pablo
Los Cuadros	Pavas Psiquiátrico
San Blas	Higuito
Ipis	Santa Bárbara
Guayabos	Mata Plátano
San Juan de Dios	Santa Ana (Pista)
Alajuelita	El Pisote
Los Sitios	Piedades
Tibás	
San Rafael	

Para apreciar ejemplos de este tipo de estación se realizaron visitas a las estaciones de Calle Nueva en Alajuelita (fig. A.4.1), la planta de tratamiento en Guadalupe (fig. A.4.12 a A.4.17) y los tanques de Bello Horizonte (figuras A.4.18 a A.4.22). Se muestran fotos de estas visitas en la sección de apéndices en el [apéndice A.4](#).

### 3.1.4 Estación tipo electroválvulas<sup>5</sup>

Este tipo de estación consta de una electroválvula o válvula, y un medidor de caudal instantáneo, ubicados a lo largo del sistema de tuberías del área metropolitana.

La función de este tipo de estación es la de permitir o no el paso del agua por las tuberías en sitios estratégicos del proceso de recolección y suministro de agua. En los lugares en que se cuenta con un control por telemando es generalmente cuando se encuentra en conjunto con otro tipo de estación como un tanque, o planta de tratamiento. Cuando se encuentra sola este tipo de estación, su control es manual, por lo que se necesita de un empleado del AyA que vaya a cerrar o abrir dicha válvula.

Una problemática que presenta esta estación, es la dificultad de instalar el telemando, ya que generalmente no tienen un acceso fácil a la toma de corriente, puesto que se pueden encontrar en media calle o un lugar alejado del cableado eléctrico, por lo que habría que hacer llegar las líneas de poder, e implica la instalación de postes de luz, transformadores y toma de corriente; lo cual incrementa los costos de instalación para estas estaciones.

Como ejemplo de este tipo de estación, se visitó una válvula manual instalada en la pista rumbo a Escazú, a la altura de Multiplaza, las fotos de esta visita se presentan en la sección de apéndices, en el [apéndice A.4](#), de las figuras A.4.23 a la A.4.28. También se pueden observar unas válvulas mecánicas junto a una electroválvula (fig. A.4.20) en la visita a las estación de Bello Horizonte es esa sección.

---

<sup>5</sup> A este tipo de estación también se refirió el Ingeniero encargado de los operadores del CCO, cuyo resumen de la entrevista se puede ver en la sección 4.2.

En la estación situada en la pista se observa que ya está instalado un medidor de caudal mecánico con salida digital, al cual no se le da todavía uso, debido a la falta de una fuente de alimentación cercana, además del resto de componentes para montar de la parte de telemetría en esta estación, los cuales corresponden al gabinete de comunicación y al gabinete del PLC.

Como en este tipo de estación son muchas las válvulas manuales instaladas las cuales se podrían cambiar por electroválvulas, resulta difícil definir las faltantes, además de que sería un gran número de ellas, en la tabla 3.1.4.1 solamente se mencionaron las electroválvulas que ya se han incorporado al sistema SCADA.

**Tabla 3.1.4.1** Electroválvulas incorporadas al sistema SCADA

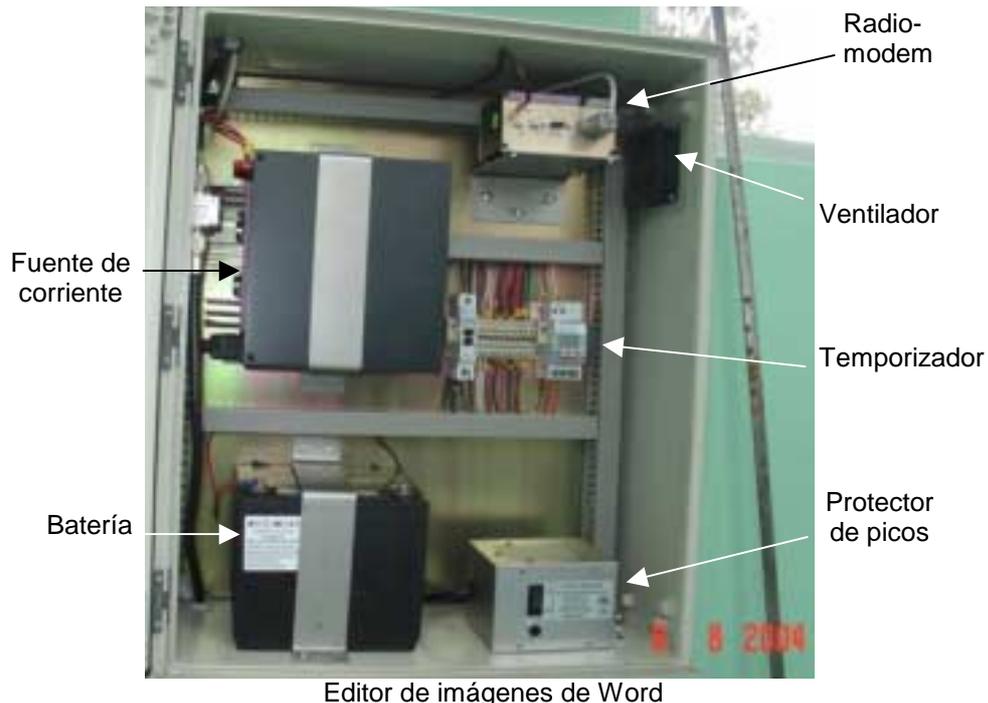
Tanque del Sur 1	Tanque Bello Horizonte
Tanque del Sur 2	Tanque Guadalupe
Tanque Sabanilla	Tanque Pavas Psiquiátrico
Tanque San Blas	

### **3.1.5 Estaciones en general**

En todos los tipos de estación está presente, o debería estarlo, una estación de telemetría cuya configuración actual se compone de dos gabinetes, uno que contiene el Radio-módem (denominado de comunicaciones) y otro que contiene al PLC (denominado de tratamiento de datos).

#### **a) Gabinete de comunicaciones:**

Contiene al Radio-módem, junto con otros elementos de protección tales como disyuntores, ventilador, temporizador para el ventilador, supresor de picos, batería 24 V, y una fuente de voltaje 24V, 12 A. Un ejemplo de esta configuración se presenta en la figura 3.1.5.1 mostrada a continuación:



Editor de imágenes de Word  
**Figura 3.1.5.1** Gabinete con equipo de radio.

La configuración de este gabinete está diseñado exclusivamente para el Radio-módem de manera que esté protegido contra fallas en el suministro de la energía, además de sobrevoltajes y sobrecorrientes. También se protege contra altas temperaturas por medio del ventilador, el cual es controlado por un temporizador de forma que solamente trabaje en el día, que es cuando se corre peligro de sobrecalentamiento por altas temperaturas.

El Radio-módem posee dos puertos de comunicación, los cuales sirven para recibir y transmitir la información a modular por el puerto denominado "COM", y para programar el Radio-módem por el puerto denominado "SETUP". Para esta programación se utiliza un software instalado en una computadora portátil, la cual se comunica por medio de este puerto ya sea para leer o escribir datos en el Radio-módem.

Este tipo de radios son fabricados por la compañía Dataradio Inc., cuyo centro de distribución se encuentra ubicado en Estados Unidos. Como son los únicos que construyen comercialmente este tipo de radios, la compra de este dispositivo se realiza en forma directa y no por licitación.

**b) Gabinete de tratamiento de datos:**

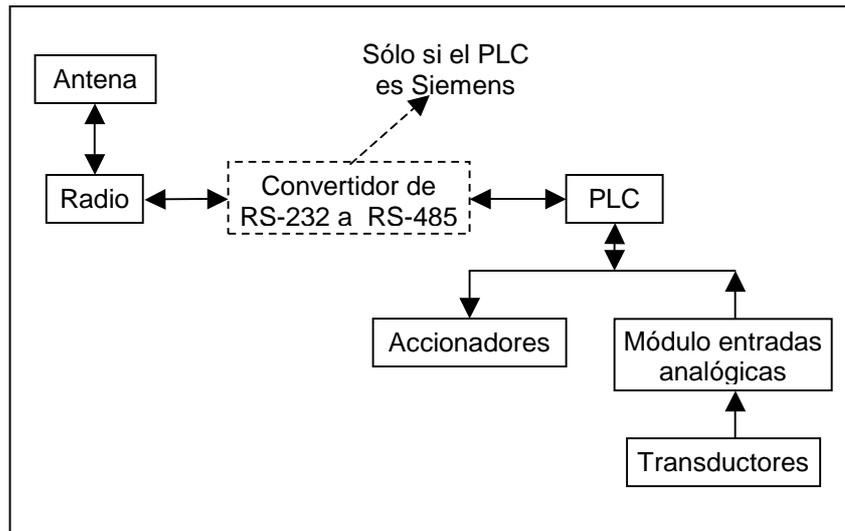
Contiene al PLC, junto con sus módulos convertidores de analógico a digital, encargados de recibir y dar tratamiento a las señales enviadas por los transductores, disyuntores, regleta y conectores. En el caso en que la salida de datos del PLC hacia el Radio-módem sea de RS-485, se deben utilizar un convertidor de RS-485 a RS-232, el cual es el tipo de entrada de datos para el Radio-módem. Un ejemplo de este montaje se presenta en la figura 3.1.5.3 mostrada a continuación.



Editor de imágenes de Word  
**Figura 3.1.5.2** Gabinete con PLC.

El gabinete anterior está diseñado para el PLC, solo cuenta con medidas contra grandes fallas en la alimentación mediante el disyuntor, lo cual deja desprotegido al PLC contra daños por cambios medianos y pequeños en la corriente y voltaje de alimentación, además de que el PLC dejaría de funcionar cuando falle la fuente de alimentación por no contar con batería, por lo que no se recolectan los datos mientras no hay alimentación del PLC.

A continuación, en la figura 3.1.5.4 se presenta un esquema del manejo de los datos de monitoreo y control por parte de las estaciones remotas.



Editor de imágenes de Word

**Figura 3.1.5.3** Esquema de los principales elementos presentes en una estación remota

Con respecto al sistema de recolección y distribución del agua, de acuerdo con el libro Macromedición, de Jose Augusto Hueb, donde se definen los equipos principales que deben utilizarse en un sistema de abastecimiento de agua, y se dan ejemplos para los medidores de caudal, presión y nivel; para los cuales recomienda que el equipo utilizado sea de una sola marca, para facilitar de esa forma la operación y mantenimiento del sistema, con el fin de que sus características eléctricas sean las mismas.

### 3.2 Antecedentes bibliográficos

Para el estudio del problema analizado en este proyecto, se realizaron búsquedas en Internet y en las bibliotecas. Se obtuvo la siguiente información.

Con respecto a las necesidades de medición de variables en un sistema de acueducto, se mantienen las principales, las cuales corresponden a nivel de tanques, caudal y presión. Estas variables fueron definidas para los primeros acueductos, uno de los libros que las definen es el de Jose Augusto Hueb, llamado Macromedición, el cual se presenta en la bibliografía y está disponible en la biblioteca del AyA, en las oficinas centrales en Pavas.

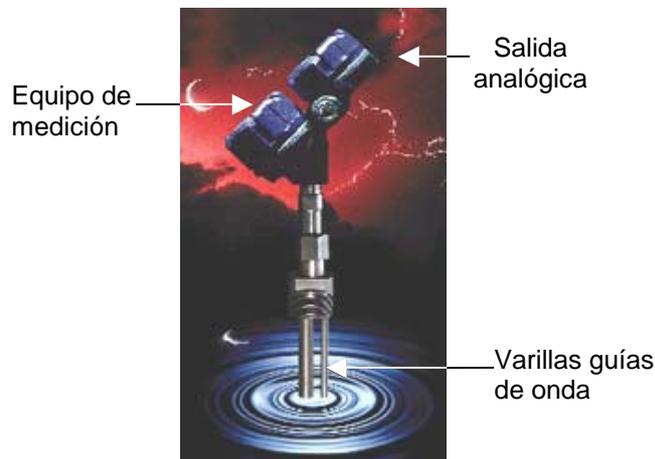
En instituciones de acueductos de otros países y empresas dedicadas a instalar sistemas para la distribución de agua, con más experiencia y más desarrolladas, proponen un manejo preventivo de las fugas más avanzado, a partir del manejo de las presiones en los acueductos a través del día, evitando que se concentren altas presiones en la horas de poca demanda del líquido, y aumentándola conforme aumenta la demanda. Para esto utilizan una electroválvula ajustable en las tuberías. A continuación se presentan unas referencias a páginas del acueducto de Colombia y una empresa dedicada a instalar sistemas de control para agua <http://www.acueducto.com.co> y <http://www.accingenieria.com.co/>.

Con respecto a las nuevas tecnologías para la medición de variables, se encontraron unas técnicas bastante avanzadas en las direcciones: <http://www.jsindustrial.com.pe/index.html>, <http://www.accingenieria.com.co/>, y <http://www.noshok.com/> entre otras. Estas empresas ofrecen innovadoras soluciones para la medición de nivel, caudal y presión, entre otros.

Para la medición de nivel ofrecen un transmisor de nivel tipo radar de onda guiada (fig. 3.2.1), cuyo principio de funcionamiento se basa en la reflexión de onda de alta frecuencia con varilla de metal que está en contacto con el agua, en el punto en que hace contacto parte la onda será reflejada, la cual al llegar al punto de donde fue emitida es detectada por el dispositivo, y a partir de un reloj de gran precisión, con base al tiempo que le tomó regresar, se determina la

distancia a la que está el nivel del tanque. Este dispositivo resulta muy preciso, de bajo costo y da como salida una señal de 4 a 20 mA, lo cual es compatible con el equipo utilizado actualmente en el AyA.

En la figura 3.2.1 se presenta dicho medidor de nivel.



Editor de imágenes de Word

**Figura 3.2.1** Medidor de nivel tipo radar de onda guiada

Otra opción para la medición de nivel, es un medidor de presión que se introduce dentro del tanque, un método idéntico al utilizado actualmente en el AyA, con la excepción de que se elimina el transductor de presión que recolecta el dato fuera del tanque, ya que la conversión se realiza en el mismo sensor situado dentro del tanque.

Para la medición de caudal proponen un medidor de flujo ultrasónico, el cual consiste de dos subsistemas: la flujocelda y la consola electrónica.

La consola electrónica contiene el programa que manejará a los transductores, procesa y manipula los datos de entrada y salida. El sistema de medición de flujo usa pulsos ultrasónicos, para medir la velocidad del flujo del fluido que desee.

La flujocelda es el tramo de tubería en donde serán colocados un par de transductores ultrasónicos dispuestos en el plano horizontal y frente a frente formando un ángulo de  $45^\circ$  con referencia al plano horizontal.

Este tipo de sistema posee dos presentaciones, una fija y otra transportable para los casos en que sea más útil y se requiera de esta forma.

En el caso de los transductores de presión, presentan un nuevo diseño, el cual es compacto y fácil de montar, la variable analógica se obtiene en el mismo sensor, sin necesidad de montar un transductor cerca del punto de medición. A continuación se presenta la figura 3.2.3 con este nuevo modelo:



**Figura 3.2.2** Medidor de presión compacto.

Este medidor de presión también es compatible con los parámetros establecidos para la corriente en el AyA, ya que proporciona una corriente de 4 a 20 mA.

### **3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.**

Los principios físicos que se encuentran presentes en la solución del problema, están relacionados principalmente con la hidráulica de fluidos, explícitamente con la medición de presión ejercida por el agua, la cual se aplica a la medición de nivel y a la de caudal. Estas relaciones se encuentran cuantificadas mediante las ecuaciones 3.1.3.1 a la 3.1.3.3 de la sección 3.1.3.

Con respecto a los principios electrónicos, se encuentran principalmente los de arquitectura de microcontroladores y comunicaciones eléctricas, ya que el sistema hace uso de un microcontrolador para realizar un muestreo del dato, lo transformar mediante las ecuación respectiva de las antes mencionadas (ya sea caudal o nivel) a un formato que sea entendible para los operadores del centro de control y transfiere los datos por radio mediante modulación FM.

## **Capítulo 4: Procedimiento metodológico**

### **4.1 Reconocimiento y definición del problema**

Para la definición del problema se procedió a realizar varias actividades, entre ellas están las visitas a algunas estaciones remotas representativas, que en total fueron 6, las cuales corresponden a las de Bello Horizonte, Calle nueva de Alajuelita, bombeo de Puente de Mulas 1, planta de tratamiento de Guadalupe, una válvula en la pista a Escazú y la estación de bombeo en la planta de La Uruca. Las fotos de algunas de estas visitas se pueden encontrar en el apéndice A.4.

Las metas y restricciones generales se definieron con el asesor en la empresa, en la sección 1.2 (solución seleccionada) se encuentran los requerimientos de la empresa dados por el asesor.

### **4.2 Obtención y análisis de información**

Para la obtención de la información se realizaron entrevistas a ingenieros encargados de los procesos fundamentales de las estaciones, los cuales fueron el Sr. Luís Carlos Durán, Ingeniero Mecánico, la Srta. Dora Acuña, Ingeniero Civil, el Sr. Carlos Camacho, Ingeniero civil, y al Sr. Isidro Solís, Ingeniero civil.

A continuación se presenta un resumen de las entrevistas realizadas a dichos funcionarios:

- Ingeniera Civil a cargo del departamento de Plantas Potabilizadoras, con 20 años de laborar para el AyA. Actualmente se encarga de la operación y el mantenimiento de las 15 plantas existentes.

Este departamento se divide en tres unidades, las cuales son Cloración, Mantenimiento de filtros y tomas y obras de aducción. En él se realiza un monitoreo manual de variables tales como turbiedad, color, alcalinidad, pH, dureza del agua y cloro residual en diferentes etapas del proceso de purificación del agua, tales como a la entrada de la planta, durante el proceso y a la salida de la planta. Para poder realizar este análisis, y dar un tratamiento oportuno al agua, se pasa la misma por tanques de retención, los cuales proveen del tiempo

suficiente para determinar estas variables y dar tratamiento al agua, para reducir las variables que podrían ser perjudiciales al ser humano.

En este tipo de estación, la variable que se mide y alimenta al sistema SCADA actualmente es el caudal de salida de la planta, aunque no se ha implementado en todas las plantas existentes.

Las variables que considera necesario monitorear para una posible automatización en el futuro, son: caudal de entrada, caudal de salida, agua sedimentada durante el proceso, turbiedad del agua, color, pH, alcalinidad, y cloro residual (el significado de estos términos se presenta en el apéndice A.1).

La ingeniera se refirió a que ya se a hecho un primer esfuerzo en realizar una automatización en la planta de tratamiento de Tres Ríos, donde ya operan varios sensores y racionadores de sustancias químicas, pero se presentó un problema con el sensor de turbiedad, ya que es exageradamente caro, la empresa que los provee no cumplió con los parámetros establecidos, como es fácil y rápido su monitoreo manual, optaron por mantener el monitoreo de esta variable manualmente, lo que a la vez ahorra recursos a la institución.

Con respecto a las normas que siguen en las plantas de tratamiento de aguas en el AyA, rigen las de la OMS.

- Ingeniero mecánico jefe del departamento de bombeo, quien lleva laborando 20 años en el AyA.

Su departamento es el encargado de la implementación, puesta en operación y mantenimiento las estaciones de bombeo del AyA. Actualmente en el SCADA, solamente se controla el encendido y apagado de varias de las bombas, por medio de telemando, todavía falta integrar el resto de las estaciones de este tipo, lo cual se piensa realizar a corto plazo.

Con respecto a las variables que se desearía poder medir para mejorar su labor, consideró las de voltaje y corriente, aunque actualmente en muy pocas estaciones se miden digitalmente estas variables (la mayoría es de forma analógica), los datos de las mismas no se entregan a la red.

Opina que la importancia de la recolección y manejo de dichos datos se basa en poder montar un plan de prevención de fallas en los equipos, además de tener una noción del desempeño de los equipos de bombeo. También considera oportuno la incorporación de la medición del caudal (instantáneo y acumulado), lo cual permitirá una operación controlada de la bomba, y posiblemente una mejora en la producción. Además, por prevención, recomendó medir la presión del agua a la salida de las bombas, ya que de esa manera, se sabría inmediatamente si se está produciendo o está por producirse una obstrucción en la tubería a la salida de la bomba, lo que podría provocar un daño en la misma si no se actúa a tiempo.

Los problemas que tienen actualmente son fallas en la comunicación, y la falta de que se otorgue el contrato para la compañía que instalará el software definitivo del SCADA, por lo que no se pueden realizar cambios en su programación.

Con respecto a la normas o regulaciones para equipos de bombeo, indicó que estas no existen en Costa Rica, por lo que este criterio no se incorpora en las especificaciones de los equipos que se piden en las licitaciones.

- Ingeniero civil encargado del manejo y mantenimiento de los tanques, ha laborado durante 21 años en el AyA.

Con respecto a su área, los tanques, él considera que actualmente se monitorean las variables mas importantes: nivel, caudal aportado (comportamiento llenado/vaciado) y el caudal de entrada o de salida.

Las variables que considera se pueden agregar al monitoreo, recomendó la instalación de sensores de presión y caudales, en puntos estratégicos de la red de tuberías en el área metropolitana, lo cual serviría para predecir los puntos probables donde se encuentran fugas de agua en la tubería, además de evaluar la posible integración de nuevas tuberías.

También consideró relevante medir la conductividad del agua, ya que esta es una característica muy propia para cada fuente de agua, y mediante esta medición se puede identificar de cual lugar proviene el agua, y en el caso de San José, que es abastecido por tres fuentes principales de agua (provenientes de

Orosi, La Valencia y Puente de Mulas). Si se sitúan sensores en lugares estratégicos, en el caso de presentarse una falla de presión en una de estas fuentes, el agua de las otras dos desplazarían a la de la fuente con la falla, cambiando las características de conductividad del agua presente en un sensor específico, lo cual permitiría percibir tempranamente un fallo.

- Ingeniero civil encargado del departamento de operación del acueducto metropolitano, quien lleva laborando 22 años en el AyA.

Como el trabajo de su departamento consiste en controlar el sistema SCADA, conoce acerca de la operación de todos los tipos de estaciones, e hizo comentarios para cada tipo.

Para el bombeo, recomendó que se midiera el caudal de salida (instantáneo y acumulado), además del porcentaje máximo de caudal instantáneo que se está obteniendo, y presión de salida. Además pide que se termine de realizar la automatización del control ON/OFF de todas las bombas, pues sólo se tienen algunas controladas en el SCADA.

En plantas de tratamiento o potabilización del agua, informó que no reciben ningún tipo de información, y recomienda que para un control adecuado, sería conveniente medir el caudal de salida (instantáneo y acumulado), el porcentaje de caudal aportado con respecto al máximo, y el cloro residual del agua que sale de la planta de potabilización.

En el caso de los tanques, opinó que las variables que se miden actualmente (nivel, caudal de entrada o salida, caudal aportado) son suficientes para el control que realizan los operadores, solo también pide que se termine de instalar dichos medidores en los tanques faltantes, y realizar su implementación en el SCADA.

También hizo referencia las válvulas / electroválvulas, para este tipo de estación, que casi no está automatizado (pues todavía existen muchas válvulas manuales), hace falta medir el caudal de salida (instantáneo y acumulado), presión a la salida y el manejo ON/OFF de las mismas. La problemática de este tipo de estación, es que no poseen un toma corriente cerca, por situarse las

electroválvulas en cualquier punto de la red de distribución de agua, por ejemplo en la autopista, por lo que requerirían una inversión mayor que en las demás.

Planteó la posibilidad de instalar medidores de presión y cloro residual en puntos estratégicos al final de las tuberías de distribución del agua, para poder tener idea de la calidad del agua que llega a los puntos mas lejanos, y así realizar ajustes y reparaciones cuando estas variables no posean valores satisfactorios.

De los requerimientos expresados por los ingenieros en las entrevistas, se realizó la tabla 4.2.1, la cual resume dichos requerimientos, dividiéndolos en los tipos de estaciones y tipo función.

**Tabla 4.2.1** Resumen de los componentes requeridos por los ingenieros entrevistados para las estaciones remotas

Tipo Estación	Sensor	Control
Bombeo	Voltaje, corriente, presión y caudal	--
Planta de Tratamiento	Turbiedad, color, dureza, pH, coliformes, alcalinidad y cloro residual	Dosificadores de cloro y sulfato
Tanque	--	--
Electroválvula	Caudal y presión de salida	On/Off válvulas (resto de estaciones)

Además de estas entrevistas realizadas, se obtuvieron aportes tales como consejos y recomendaciones de los siguientes funcionarios: Ingeniero Eduardo Rocha Vargas, Ingeniera Ileana Carvajal y el Ingeniero Marvin Coto.

También se revisó el cableado de los gabinetes, se constató que la codificación actual no es la misma para todos, lo que complica la labor de los encargados de dar mantenimiento a las estaciones, pues tienen que verificar a qué elemento se encuentra alambrado (por el problema antes mencionado).

Se contó además con los documentos elaborados para las licitaciones de implementación de nuevas estaciones, los cuales pueden ser tomados como referencia para obtener algunas de las características principales de los dispositivos mencionados anteriormente.

### **4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución**

A partir de un análisis de las entrevistas realizadas, y con ayuda de la licitación elaborada para la automatización de la planta de tratamiento de Tres Ríos (está por ser publicada y no cuenta con numeración, se utilizó para definir los equipos necesarios en este tipo de estación), se elaboraron tablas que muestran los componentes necesarios en cada tipo de estación, las cuales se son las tablas de la 5.1.1 a la 5.1.4.

Una vez obtenidos los componentes necesarios, se procedió a definir las características de los mismos, para lo cual se consultaron las licitaciones LPR-2004-015 y LPR-2004-065, en las que se encuentran descripciones de ciertos componentes para tareas y condiciones específicas de unas estaciones, por lo que con ayuda de los ingenieros a quienes se entrevistó previamente, se procedió a definir las características generales de los equipos que se instalen en las estaciones remotas, las cuales se presentan en el anexo A.2. A estas características generales se les debe agregar solamente las características específicas que deben cumplir para ser instaladas, tales como la superficie o lugar de montaje, la presión a manejar, el diámetro de los tubos, etc.

También se procedió a dibujar la distribución del gabinete. A petición del asesor de la empresa se distribuyeron los equipos presentes en los gabinetes del PLC y del Radio-módem en un solo gabinete denominado “gabinete de telemetría”; el criterio de diseño seguido fue el que se utilizara el menor espacio posible para dicha distribución. Este diseño se realizó a escala, para lo cual se midieron las dimensiones de los equipos presentes en ambos tipos de gabinete, de manera que la propuesta final se asemejara a la realidad. La propuesta seleccionada corresponde a la mostrada en la figura 5.1.2, por ser la que necesita de un menor espacio y contó además del visto bueno por parte del asesor en la empresa.

Se confeccionó una codificación para el cableado del equipo dentro del gabinete de telemetría, porque en las revisiones hechas en los gabinetes actuales

se pudo constatar que se utilizaba cualquier tipo de codificación en cada estación, la cual no coincide para todas.

Para realizar esta codificación se siguieron las recomendaciones por parte de los ingenieros, por lo que se optó por utilizar letras significativas para la identificación del cableado, como por ejemplo que la codificación inicie con la letra “P” para los cables que se conecten al PLC, además de indicar también con una segunda letra al equipo del cual proviene el cable, como por ejemplo utilizar la letra “E” si el cable se conecta a una electroválvula, y si se conecta a la electroválvula número uno, la codificación final sería PE1 para este ejemplo.

Por último se realizó un diagrama de flujo de las funciones que realiza el PLC en las estaciones de tanque, electroválvula y algunas de bombeo.

#### **4.4 Implementación de la solución**

Para dar a conocer el resultado de la investigación, análisis y diseños realizados, se elaboró un documento con los términos de referencia, tal y como está propuesto en los objetivos específicos, el cual se procedió a exponer en la institución ante el asesor de la empresa e ingenieros.

Antes de imprimir la versión final del manual, se le entregó una copia del mismo al asesor en la empresa, quien lo revisó junto con otros ingenieros para dar sus observaciones y plantear correcciones, las cuales fueron incorporadas en la versión final del manual de la empresa.

En este documento se detallan las propuestas par la distribución del equipo en el gabinete, la codificación para la conexión del cableado, consideraciones para el diseño de las estaciones remotas, términos de referencia de los sensores y actuadores que se utilizan en las estaciones remotas y el diagrama de flujo de las funciones del PLC.

Dicho documento se encuentra en la sección A.2 de los apéndices.

#### **4.5 Reevaluación y rediseño**

Conforme se perciban avances en los equipos utilizados en este tipo de estaciones, es necesario realizar un rediseño de las estaciones de telemetría, y hacer nuevamente un manual similar al propuesto, de manera que se mantengan

actualizados a los ingenieros y al personal acerca de los cambios en los equipos y los procedimientos utilizados en los procesos de toma y recolección de agua, en los sensores para las variables y el proceso de telemetría.

Para hacer esta reevaluación, se propone realizar cada lapso de tiempo un estudio de los equipos y las tecnologías aplicadas en el proceso de recolección y distribución del agua, el cuál puede variar dependiendo de la cantidad de innovaciones realizadas, se recomienda que ese lapso sea de entre 2 y 5 años.

## Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

### 5.1 Análisis de soluciones y selección final

Según la investigación realizada tanto en información bibliografía como por Internet, no se registran innovaciones en los tipos de estaciones necesarias que intervienen el proceso de recolección y distribución del agua potable. Además, de acuerdo con el criterio emitido por los ingenieros de esta entidad, no existen regulaciones para este tipo de actividad con respecto a la calidad de los equipos que se deban utilizar. Lo único que se regula es la calidad del agua potable que se le debe proporcionar al consumidor.

Quien regula la calidad del agua potable es la OMS (Organización Mundial de la Salud) mediante sus sucursales como la OPS (Organización Panamericana de la Salud) para la región de América Latina, las cuales deben ser acatados de forma obligatoria por los ministerios de salud de cada país, de manera que las regulaciones incorporadas a las leyes del respectivo país.

Como la calidad del agua es únicamente tratada en las estaciones de cloración del agua, queda abierto al criterio de los ingenieros el tipo de equipo a utilizar en el resto del proceso de recolección y distribución del agua.

Del estudio realizado en las visitas a las estaciones, y de las entrevistas a los ingenieros, se generaron unas tablas en las que se definen las variables monitoreadas y los equipos de control presentes en cada uno de los tipos de estación, se muestran en las tablas de la 5.1.1 a la 5.1.4 presentadas a continuación:

**Tabla 5.1.1** Componentes presentes y requeridos para una estación de telemetría tipo bombeo.

	<b>Sensores</b>	<b>Control</b>
Existe	--	On/Off bombas
Se requiere	Voltaje	--
	Corriente	--
	Presión	--
	Caudal	--

**Tabla 5.1.2** Componentes presentes y requeridos para una estación de telemetría tipo planta de tratamiento.

	<b>Sensores</b>	<b>Control</b>
Existe	Caudal Salida	--
Se requiere	Turbiedad	Dosificadores de cloro
	Color	Dosificadores de sulfato
	Dureza	--
	pH	--
	Coliformes	--
	Alcalinidad	--
	Cloro residual	--

**Tabla 5.1.3** Componentes presentes y requeridos para una estación de telemetría tipo tanque.

	<b>Sensores</b>	<b>Control</b>
Existe	Nivel (Caudal Aportado)	--
	Caudal entrada o salida	--
Se requiere	No se requiere de mas sensores	

**Tabla 5.1.4** Componentes presentes y requeridos para una estación de telemetría tipo electroválvula.

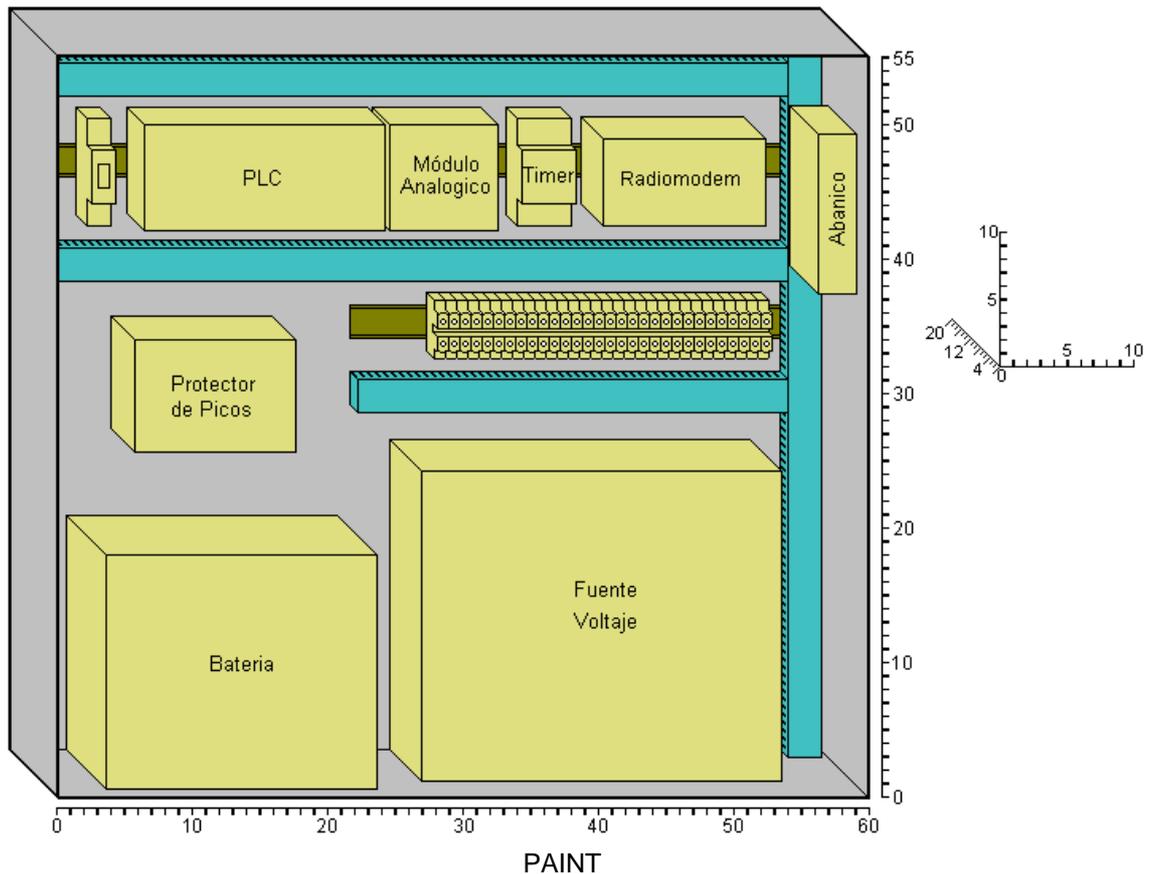
	<b>Sensores</b>	<b>Control</b>
Existe	--	On/Off válvulas (algunas)
Se requiere	Caudal de salida	On/Off válvulas (total)
	Presión a la salida	---

El tipo de PLC utilizado para recolectar los datos de los sensores, darles tratamiento y enviarlos al Radio-módem es muy robusto y resulta caro para la Institución ya que es de tipo industrial, porque contienen muchas funciones y gran cantidad de memoria a las que no se les da uso en el tipo de aplicación en la que es empleado.

Para el diseño de la distribución del equipo en el gabinete se consideraron varias formas de distribuir el equipo, buscando siempre un modelo que utilice la

menor cantidad de espacio posible. El diseño se realizó a escala, tomando en cuenta las dimensiones reales de los componentes.

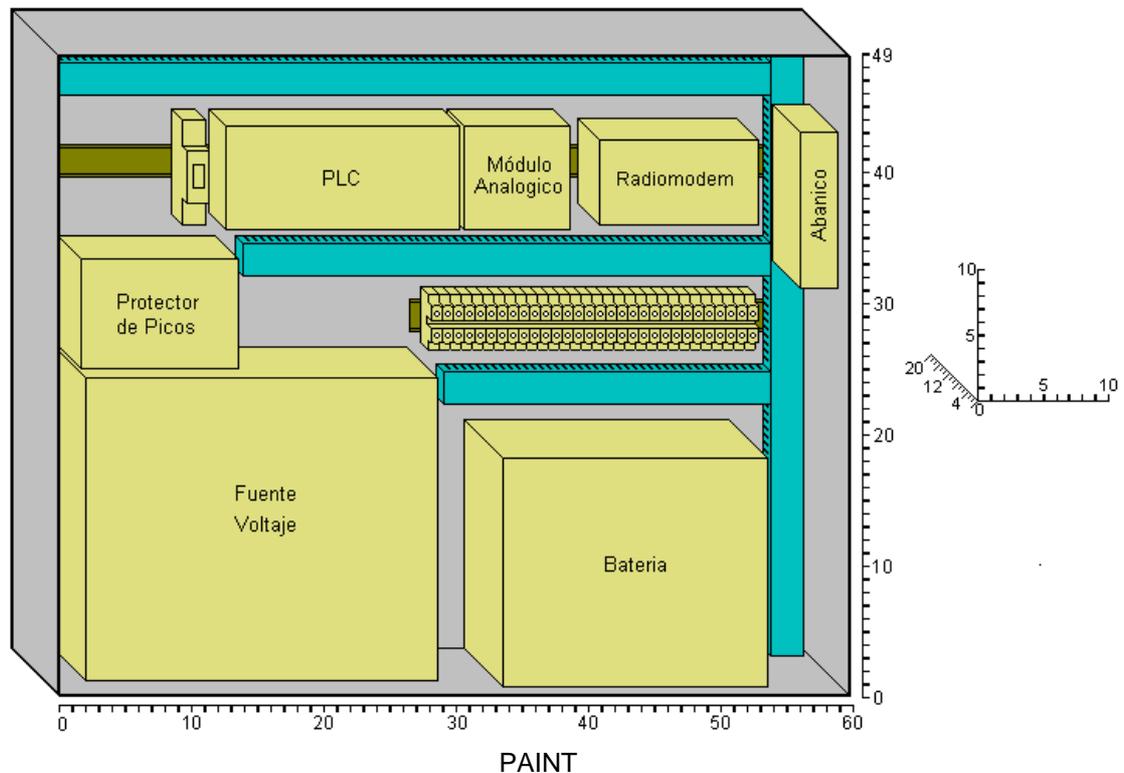
A continuación, en las figuras 5.1.1, 5.1.2 y 5.1.3 se presentan las tres más relevantes:



**Figura 5.1.1** Primera propuesta para la disposición para el equipo

Para esta primera opción que se propuso, hacer un análisis de la función de los componentes, se determinó que el dispositivo denominado "Timer", cuya función era de encender el ventilador solamente durante el día y que estaba situado en el gabinete del PLC, puede ser eliminado, ya que el PLC cuenta con un reloj interno, que puede ser utilizado en lugar del timer al asignar una salida digital del PLC para controlar el encendido y apagado del abanico. Otra modificación necesaria es el conectar un relé a la salida asignada; pues si se contara únicamente con el voltaje de la salida digital no se podría proporcionar la alimentación del ventilador, porque este necesita de 12 V para funcionar.

Partiendo de la anterior consideración y realizando una distribución mas compacta de los componentes, se obtuvo la segunda opción para la disposición del equipo, que se muestra a continuación:

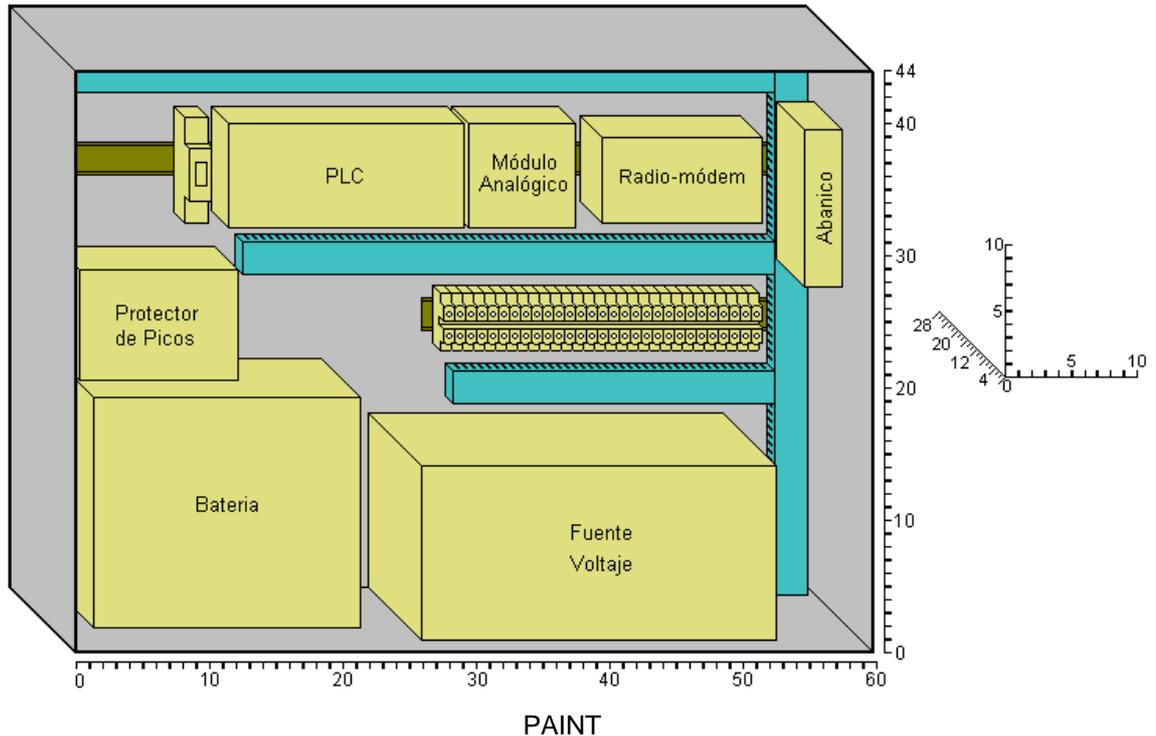


**Figura 5.1.2** Segunda propuesta para la disposición para el equipo

Para esta segunda propuesta, se decidió cambiar la ubicación de la batería con la fuente de voltaje, y montar sobre la fuente de voltaje el protector de picos. Esta otra disposición permite reducir el área del gabinete, pues la altura se reduce a 49 cm.

Luego se pensó en ubicar de forma diferente la fuente de alimentación, e intercambiar su posición con la batería, esto para reducir aún más la altura del gabinete, pero para poder realizar la ubicación de la fuente, se debe ampliar el fondo del gabinete a 27 cm.

En la figura 5.1.3 se presenta esta tercera propuesta para la disposición de los equipos.



**Figura 5.1.3** Tercer propuesta para la disposición para el equipo

Para la selección final de la distribución del equipo se determinó el área total que abarcaría el gabinete, tomando en cuentas los lados, el fondo y la puerta. Para obtener dicha área se utilizó la fórmula 5.1.1 que se muestra a continuación:

$$\text{Área total} = 2 * \text{altura} + 2 * \text{ancho} + 2 * \text{fondo} \quad (5.1.1)$$

En la tabla 5.1.1 se muestran las dimensiones de los gabinetes propuestos, y el resultado de evaluar de estos datos en la ecuación 5.1.1

**Tabla 5.1.5** Áreas totales para los gabinetes propuestos

Opción	Ancho (cm.)	Altura (cm.)	Fondo (cm.)	Área total (cm. <sup>2</sup> )
1	60	55	20	11200
2	60	49	20	10240
3	60	44	27	10896

Se realizaron varias propuestas acerca del tipo de codificación para utilizar en los cables, entre ellas: la de emplear solamente una codificación numérica; incluir una letra al principio para referirse al dispositivo que se conecta, y por último, se propuso la de utilizar dos letras al principio, para identificar con la primera el

dispositivo en el gabinete al cual se conecta, como PLC o módulo analógico, y con la segunda el dispositivo al cual se controla o se reciben datos, tales como sensores de caudal, nivel, etc.

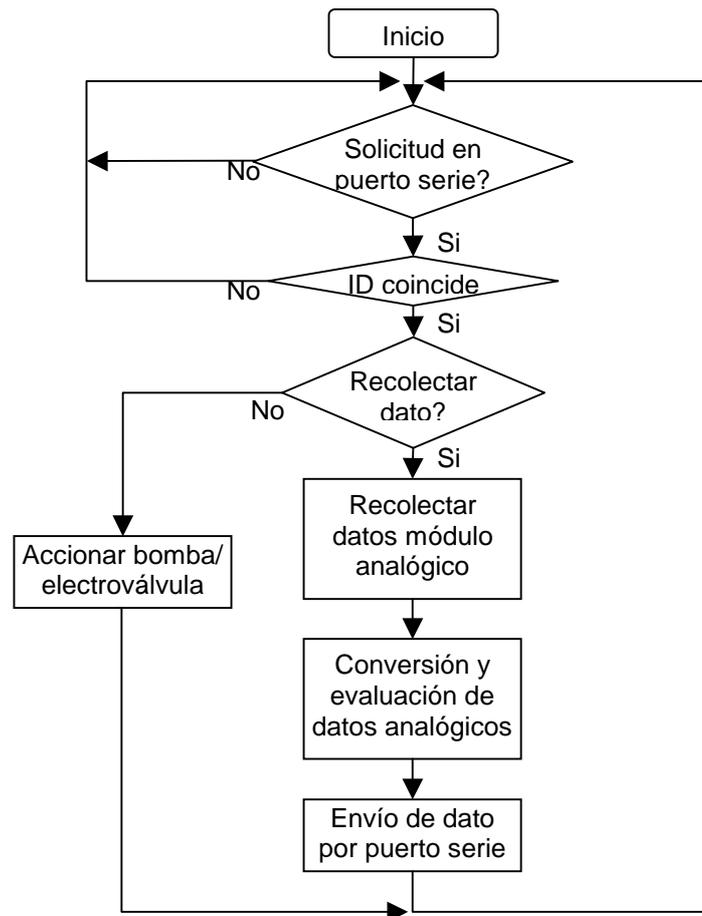
Se escogió esta última codificación por resultar ser la más representativa e informativa, pues resulta fácil identificar los cables una vez que el usuario se familiarice con la codificación.

## **5.2 Descripción del software**

Resulta difícil dar una programación en diagrama de escalera para los PLCs por las siguientes razones:

- Los PLCs utilizados en las estaciones remotas son de diferentes marcas (las cuales corresponden a Honeywell, Mitsubishi y Siemens)
- La programación de éstos se realiza con diferentes lenguajes, los cuales son proporcionados por cada marca.
- Varían los lugares en que se conectan las entradas y salidas ya sean analógicas o digitales, además del número de estas.

Por consiguiente en este proyecto se limitará a definir una programación general que podrían tener los PLCs a nivel de diagramas de flujo, el cual se presenta a continuación, en la figura 5.2.1



**Figura 5.2.1** Diagrama de flujo de la programación presente en un PLC

Este diagrama representa las funciones realizadas por el PLC en las estaciones tipo tanque, electroválvula y algunas de bombeo.

El funcionamiento de los PLC consiste en estar esperando la solicitud de acción por parte de la estación maestra ubicada en la Uruca, la cual recibe una trama de datos, donde se encuentran incluidos la identificación de estación con la que se está comunicando, además de las acciones que la estación maestra requiere que se realicen.

Entonces el PLC toma la identificación proveniente en el mensaje y la compara con la identificación de dicha estación. Cuando son iguales estas identificaciones el PLC procede a realizar la acción pedida, la cual puede corresponder al accionamiento de un bombeo o electroválvula, o la conversión de datos provenientes de los sensores.

Cuando al PLC le corresponde accionar una bomba o electroválvula, realiza dicha acción y transmite el estado del dispositivo. Si el comando indica enviar los datos de los sensores, realiza una conversión del dato presente en el módulo analógico, para luego evaluarlo en la ecuación correspondiente a la entrada censada, que puede ser para obtener un nivel o un caudal mediante las ecuaciones 3.1.3.1 o 3.1.3.3.

Una vez obtenido el valor de nivel o caudal lo envía a la estación maestra ubicada en la Uruca para proceder a regresar al estado inicial en espera de otro comando.

## **Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones**

### **6.1 Conclusiones**

- Se logró caracterizar las estaciones típicas existentes identificándolas por sus elementos primarios en estación de bombeo, planta de tratamiento, estación de tanque y estación tipo electroválvula.
- Se lograron definir los sensores presentes y requeridos por los ingenieros, junto con sus características mínimas para su implementación en la red SCADA, para cada tipo de estación. Estos sensores se presentan en las tablas de la 5.1.1 a la 5.1.4, y sus características se presentan en el manual entregado a la empresa, en el apéndice A.2.
- Se definieron las características requeridas para el gabinete de telemetría.
- Se propuso un diseño para la disposición del equipo de telemetría en un único gabinete además de una codificación para el cableado.
- Se elaboró una programación base a nivel de diagrama de flujo para el manejo de los datos en el PLC.
- Se confeccionó el documento final que indica las características principales de los equipos y la forma de ubicarlos en un gabinete único, el cual fue entregado a la empresa.

### **6.2 Recomendaciones**

Se recomienda desarrollar un PLC por parte del Departamento de Control Operacional, ya que los que se adquieren mediante las licitaciones resultan muy caros y el uso que se les da en las estaciones de tanque y electroválvula es mínimo, únicamente recolecta los datos del sensor o acciona un dispositivo, haciendo solamente un enlace entre el radio-módem y los sensores o actuadores.

Se puede diseñar entonces un PLC con un microcontrolador que cumpla con las características mínimas planteadas por el Departamento de Control Operacional, el cual cumpla la función de recibir comandos y enviar los datos a la estación maestra por medio del radio-módem.

## Referencias Bibliográficas

- Arboleda Valencia, Jorge. Teoría, diseño y control de los procedimientos del agua. Departamento de Ingeniería y Ciencias del Ambiente. Serie técnica número trece, CEPIS, 1985.
- Baggio, M. Sistemas de información operacional. Curitiba, SANEPAR, 1983.
- Coto Jiménez, Marvin. Diagnóstico y evaluación del sistema de telemetría del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, CR, 2003.
- Documentos licitación LPR-2004-015. Contratación del mantenimiento preventivo y correctivo del sistema SCADA de la región metropolitana.
- Documentos licitación LPR-2004-065. Compra de motores y bombas sumergibles.
- Documentos licitación Planta Tres Ríos. Términos de referencia para la automatización de la planta de tratamiento de Tres Ríos. Por publicar.
- <http://www.accingenieria.com.co/>. Otra empresa que ofrece e instala productos nuevos y sistemas de control.
- <http://www.acueducto.com.co>. Página del acueducto de Colombia
- <http://www.jsindustrial.com.pe/index.html>. Industria que vende nuevos transductores con mejores tecnologías.
- <http://www.netsalud.sa.cr/ms/decretos/agua.htm>. Decreto de regulaciones del agua para Costa Rica.
- <http://www.noshok.com/>. Página que ofrece productos para medición de variables relacionadas con el agua.
- Hueb, Jose Augusto; Bento Gonzaga, Cesar; Rodríguez Ávila, Francisco. Macromedición. Perú, CEPIS, 1985.
- Montero Rodríguez, Guillermo. Instructivo de plantas de tratamiento de filtración rápida. San José, CR, 1997.

## Apéndices

### Apéndice A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

#### A.1.1 Glosario de términos.

Alcalinidad del agua: Cantidad de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) presente en el agua.

Agua sedimentada: Agua a la que se han eliminado sus partículas más grandes mediante un proceso de sedimentación; para más información referirse a la sección de anexos, el Instructivo de Plantas de Tratamiento de Filtración Rápida.

Cloro Residual: Cantidad de cloro presente en el agua, luego de que ésta sale de la planta de tratamiento

Macromedidores: Equipos de medición de grandes caudales, que por la cantidad de caudal que pasa por ellos, deben soportar bastante presión.

SCADA: Sistema de control supervisado y adquisición de datos.

Macromedición: Conjunto de equipos, elementos y actividades permanentes para obtener, procesar, analizar y divulgar los datos de rutina del sistema de abastecimiento relativos a caudales, volúmenes, presiones y niveles de agua.

Tubos de Venturi: Tubos reducidos en una sección, que generan una diferencia de presión en el agua o líquido que conduce, es un principio utilizado para la medición de caudal diferencial.

Telemetría: Implica los procesos de medición, procesamiento y envío de los datos obtenidos por los sensores, realizado a través de PLCs y sistema de radio.

Transductor: Sensor que transforma una medición de una variable física en una señal analógica.

Turbiedad del agua: Grado de claridad del agua, depende de la cantidad de partículas presentes en el líquido.

### **A.1.2 Abreviaturas**

AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

CCO: Centro de Control Operacional

Fig. : figura.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

OPS: Organización Panamericana de la Salud.

PLC: Programmable Logic Controller.

### **A.1.3 Simbología**

CaCO<sub>3</sub>: Carbonato de calcio, unidades de dureza.

cm: Centímetros, unidad de longitud.

cm<sup>2</sup>: Centímetros cuadrados, unidad de área.

H<sub>2</sub>O: Agua

l: Litros

pH: Medida de la acidez o basicidad de un líquido, concentración de iones de hidrógeno.

Pt-Co: platino-cobalto, unidades de color verdadero.

Q: Caudal

s: segundos

UNT: unidades nefelométricas de turbiedad.

V: Voltaje.

## **Apéndice A.2 Manual entregado a la empresa.**

**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados**

**Región Metropolitana**

**Departamento Control Operacional**



**Características Técnicas para las Estaciones Remotas de Telemetría**

**Elaborado por:**

**Alberto Suárez Vargas**

**San José, Enero del 2005**

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	1
Características generales de las estaciones remotas .....	2
Consideraciones para la construcción de las estaciones remotas.....	4
Estación de bombeo .....	4
Estación planta de tratamiento .....	4
Estación tanque .....	4
Estación electroválvula .....	4
Consideraciones para el montaje y cableado del equipo en el gabinete.....	5
Consideraciones con respecto al equipo presente en las estaciones de telemetría. ....	9
Estación tipo Bombeo.....	9
Estación tipo Planta de Tratamiento.....	9
Turbidímetro de medición continua. ....	9
Sensores de nivel en los filtros.....	10
Potenciómetros (medidores de PH) de medición continua.....	10
Sensor detector de fugas de gas cloro.....	10
Analizador de cloro residual libre/total.....	11
Conductímetro de medición continua. ....	11
Válvulas inteligentes (dosificadores). ....	12
Estación tipo Tanque. ....	12
Transductores de presión manométrica (0-30"H2O, 4-20 mA).....	12
Transductores de presión diferencial (0-30"H2O, 4-20 mA).....	12
Estación tipo electroválvula. ....	13
Transductores de presión diferencial (0-30"H2O, 4-20 mA).....	13
Válvulas de solenoide de 2 vías .....	13
Equipo dentro del gabinete de telemetría: .....	14
Diagrama de flujo de las funciones realizadas por el PLC. ....	16

## **Introducción**

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados no cuenta actualmente con una guía en que se establezca la distribución y características del equipo que se instala en las estaciones remotas de telemetría, en este documento se plantea un modelo para cada una de estas estaciones, el cual debe ser consultado a la hora de realizar los planos de una estación, de instalar los equipos de telemetría o al darle mantenimiento a cada una de las estaciones remotas del AyA.

Es conveniente que un sistema con el tamaño del de la Región Metropolitana cuente con un estándar en la disposición del equipo, diseño general, así como en sus conexiones eléctricas, por las siguientes razones:

- Facilita el mantenimiento preventivo y correctivo que se le vaya a dar.
- Evita errores en el cableado.
- Incrementa la seguridad.
- Facilita la comprensión de la lógica de las conexiones.
- Es una herramienta útil en futuras contrataciones de compra de equipo.

El objetivo es que en todos los tipos de estación se establezca una misma configuración del equipo dentro del gabinete de telemetría, además de tener una idea de los tipos de sensores y el equipo que se controla desde el mismo.

## **Características generales de las estaciones remotas**

Las estaciones remotas se pueden clasificar en diferentes tipos, dependiendo de la forma en que se quieran ver, por ejemplo en una forma diferenciada (se diferencia una de tanque de otra que posea tanque-bombeo al igual que se diferencia de una de bombeo, viéndolas como tres tipos diferentes) o en forma general (sólo se identifican los tipos primarios de estaciones, y sus combinaciones no se reconocen como un nuevo tipo).

Para el propósito de este documento, las estaciones remotas se clasificaron en forma general, identificándolas en cuatro tipos principales, los cuales corresponden a Tanque, Bombeo, Planta de tratamiento y Electroválvula. Estas pueden estar presentes solas o en conjunto con otras estaciones en cualquier tipo de combinación posible, se les puede denominar como Tanque / Bombeo, Planta de tratamiento / tanque, etc, sin ser vistas necesariamente como un quinto o sexto tipo de estación.

Cada tipo de estación se caracterizará por el equipo presente en las mismas, las funciones que éstos realizan, y las variables que son monitoreadas o controladas remotamente desde el Centro de Control Operacional.

Como el propósito de este documento es diferenciar cada tipo de estación y caracterizar los equipos presentes en las mismas, se presentará una descripción detallada de las estaciones y los equipos que las componen.

Esta sección se dividió en tres partes, las cuales se presentan a continuación:

1. La primera parte se refiere a las recomendaciones dirigidas a las personas encargadas de diseñar los planos y construir las estaciones remotas, donde se darán principalmente los requerimientos de alimentación eléctrica y en algunos casos los requerimientos para montar sensores.

2. La segunda parte se refiere a consideraciones para los encargados de la instalación y mantenimiento de las estaciones de telemetría, donde se define una distribución del equipo en un único gabinete de telemetría, así como una codificación estándar para el cableado en los gabinetes.
  
3. En la tercera y última parte se dan características generales de referencia para los dispositivos a instalar en las estaciones típicas, de manera que faciliten la elaboración de las licitaciones en los que se requiera la compra e instalación de dicho equipo.

## **Consideraciones para la construcción de las estaciones remotas.**

### **Estación de bombeo**

Este tipo de estación debe contar en lo posible con una toma de alimentación trifásica de 460 V ac para el equipo de bombeo, además de otra toma de 110V ac para el equipo de telemetría y sensores.

### **Estación planta de tratamiento**

Este tipo de estación hace uso de bombas centrífugas, por lo que debe contar con una toma de alimentación para 460 V ac, además de otra toma de 110 V ac para el equipo de telemetría.

### **Estación tanque**

En este tipo de estación (siempre y cuando no sea implementada junto con otra estación de bombeo) solamente necesitará de una toma de 110 Vac para la alimentación del equipo de telemetría necesario para realizar la medición del nivel del tanque.

Debe contar con una base de montaje para tubo de 50 mm (2") cerca de la tapa de acceso al tanque, para la instalación del transductor de presión manométrica, además de una perforación de 12mm (1/2") a un lado de la base de la tapa del tanque, para permitir el paso del cable conductor de presión

### **Estación electroválvula**

Para este tipo de estación se debe proporcionar una toma de 110 Vac necesaria para alimentar las electroválvulas y el equipo de telemetría.

Debe contar con una base de montaje para tubo de 50 mm (2") cerca de la sección del tubo donde se mide el caudal, para la instalación del transductor de presión diferencial.

## Consideraciones para el montaje y cableado del equipo en el gabinete.

En esta sección se presenta la distribución para el equipo en un gabinete único, la cual es general, aunque no aplica para las estaciones de plantas de tratamiento de agua ni para algunas estaciones de bombeo, en las que deberá diseñarse nuevamente su distribución.

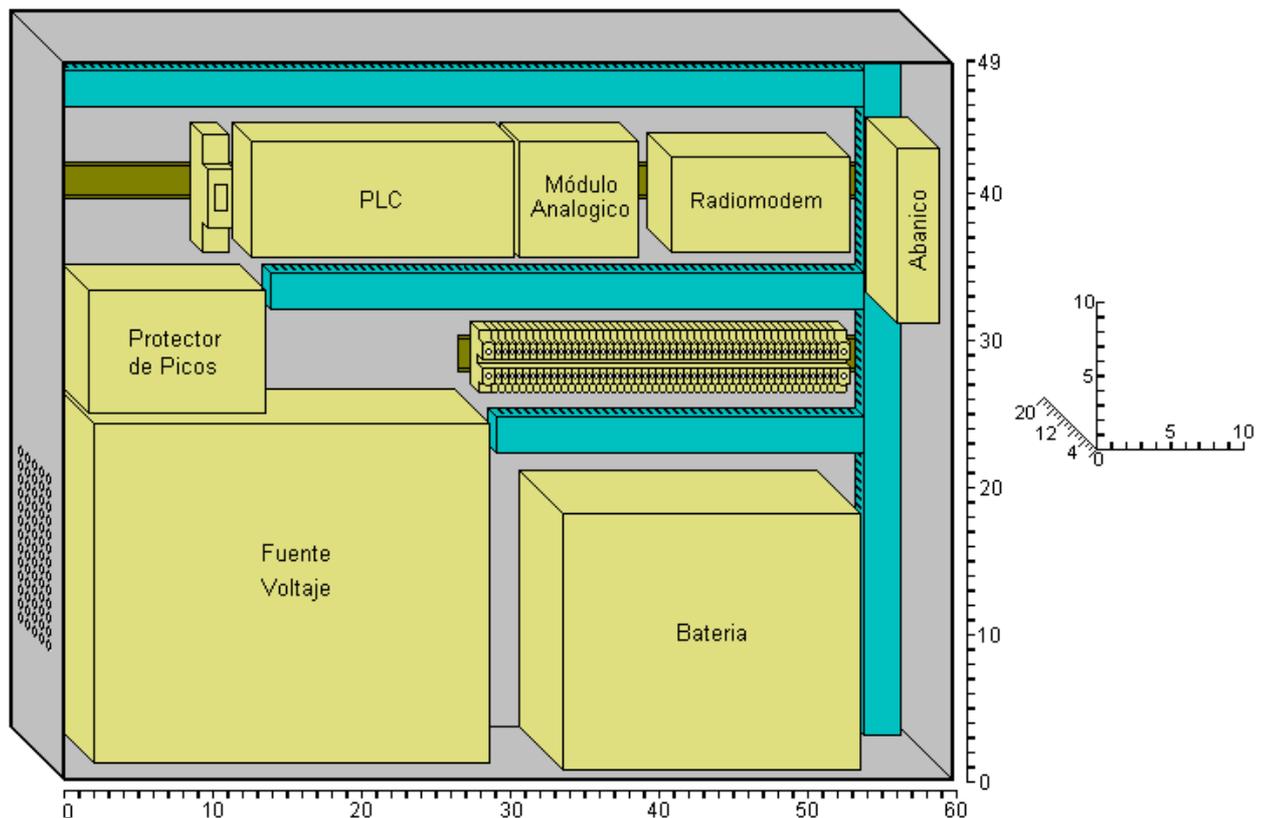


Figura 1. Disposición de equipos en gabinete

Este diseño está basado en las medidas reales de los componentes que están presentes actualmente en los gabinetes para el radio-módem y el PLC, y es válido para las estaciones remotas que corresponden a tanques, electroválvulas y algunas estaciones bombeo, dependiendo de la cantidad de equipos presentes.

Un cambio realizado con respecto al equipo existente en los gabinetes anteriores, es que se eliminó el temporizador del gabinete del radio-módem y se reduce el número de disyuntores. Se necesita solamente un disyuntor porque habría solamente un circuito de alimentación en esta configuración de un solo gabinete. La función que realiza el temporizador de controlar el abanico, se le

puede asignar al PLC, ya que el mismo cuenta con un reloj interno, y solamente se le debe asignar una salida para encender o apagar el ventilador, la cual iría conectada a un relé para conectar el voltaje del ventilador, si éste sigue utilizando 12 V, si se cambia por uno de 5 V se puede eliminar el relé.

Para las estaciones de planta de tratamiento y las estaciones de bombeo que tengan gran cantidad de equipo y por ende necesiten de un PLC más robusto, deberá diseñarse nuevamente el gabinete, debido a que estas estaciones poseen un mayor número de equipos y sensores, por lo que se necesitará cambiar el PLC por uno que pueda soportar el número de salidas digitales para controlar los equipos y el número de entradas analógicas para poder recibir todas las señales provenientes de los sensores.

A continuación se presenta una vista frontal del dibujo 1, presentado anteriormente:

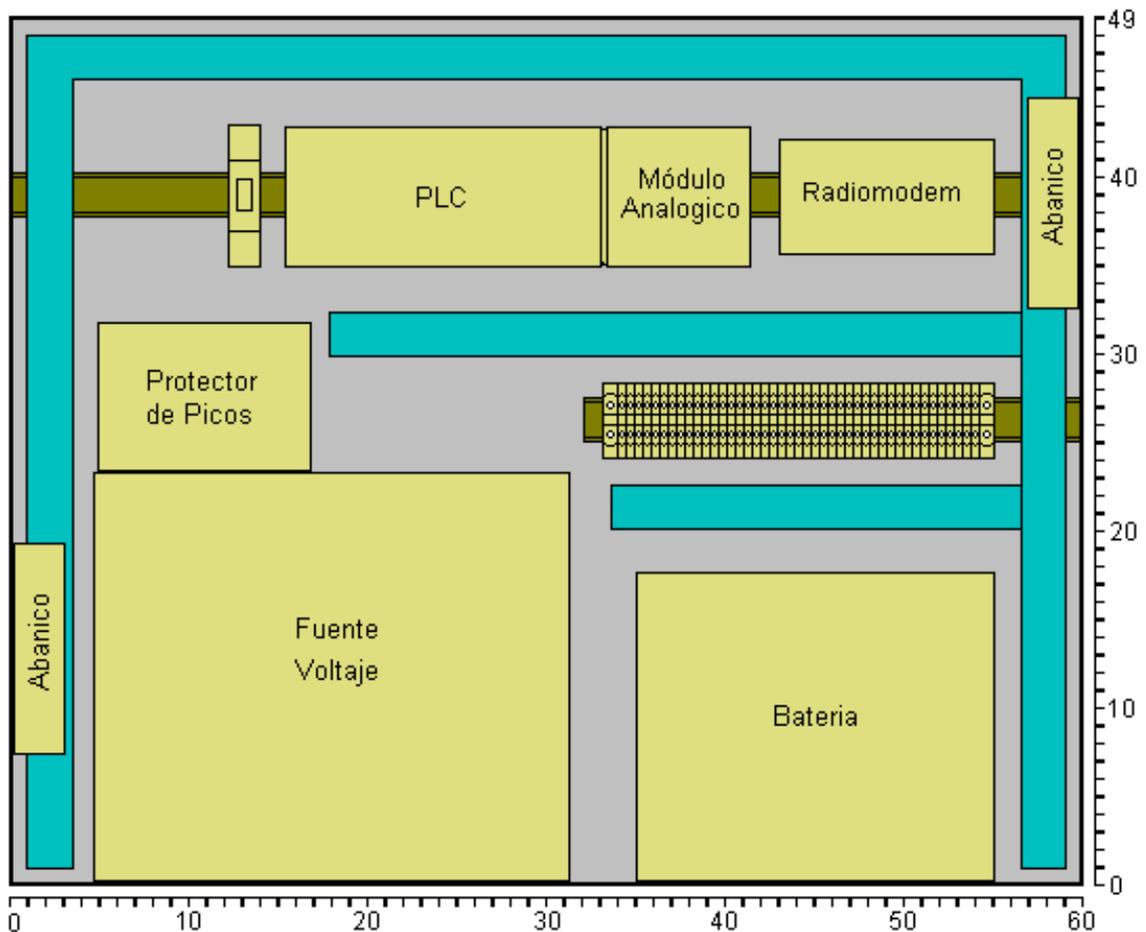


Figura 2. Vista frontal del gabinete de telemetría.

Las ventajas para realizar dicho cambio de dos gabinetes a uno sólo, son:

- Ahorro de espacio en las estaciones al eliminarse un gabinete.
- Se puede eliminar algunos componentes como disyuntores y un temporizador que ya no son necesarios pues sus funciones ya están siendo realizadas por otros dispositivos.
- Ahorro de materiales por no tener que construirse un segundo gabinete, ni se tienen que utilizar dos llaves al revisar el equipo.
- Mayor facilidad a la hora de revisar el equipo del gabinete de telemetría.

Para la codificación del cableado se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones:

PLC:

- Los cables que se conecten a este dispositivo se identifican por la letra "P" al inicio de la codificación.
- Los cables de alimentación se identifican por la letra "A" en la segunda letra de la codificación, y se utilizará el 1 para el positivo, 2 para el neutro y 3 para el neutro.
- Ejemplo de codificación: PA1, PA2 y PA3.
- Los cables para las señales digitales de salida, la tierra se identificará con la letra "G", y las señales se identifican de acuerdo con el dispositivo que se controla, por lo que se utilizará la letra "B" para el accionamiento de bombas, la letra E para electroválvulas y la letra V para el ventilador.
- Ejemplo de codificación: PG0, PB1 (de 1 a 9 según el número de bombas) , PE1 (de 1 a 9 según el número de electroválvulas) y PV0.

Módulo analógico:

- Los cables que se conecten a este dispositivo se identifican por la letra "M" al inicio de la codificación.
- Los cables para las señales analógicas se identifican de acuerdo con el sensor del que se recibe la señal en la segunda letra de la codificación, se

utilizará la letra “N” para la señal proveniente de un sensor destinado para nivel de tanque, y la letra “C” para las señales provenientes de un sensor para caudal. Así mismo, como las señales provenientes de los sensores son bipolares, y el negativo de estas señales se deben tratar por separado y no conectarse a una tierra común, se utilizará símbolo positivo para el cable positivo y un símbolo negativo para el negativo.

- Ejemplo de codificación: MN1+, MN1- (de 1 a 9 según el número de medidores de nivel), MC1+, MC1- (de 1 a 9 según el número de medidores de caudal).
- Con respecto a la estación tipo planta de tratamiento, la codificación de sus sensores se puede realizar de la siguiente forma: Para la señal proveniente de un turbidímetro con la letra “T”, la señal proveniente de un potenciómetro medidor de pH con la letra “P”, para el analizador de cloro residual libre con la letra “R”, para el conductímetro de medición continua con la letra “O”, y para los dosificadores se puede utilizar la letra “D”.
- Ejemplos de codificación: MT01 (de 01 a 99 según el número de medidores de turbiedad), MP01 (de 01 a 99 según el número de medidores de pH), MR01 (de 01 a 99 según el número de medidores de cloro residual), MO01 (de 01 a 99 según el número de conductímetros), MD01 (de 01 a 99 según el número de dosificadores).

Para el cableado de conexiones de alimentación y demás cables que sean conectados a los bornes dentro del gabinete y que no estén conectados directa o indirectamente con el PLC o el módulo analógico, se codificarán como “GB” en sus dos primeras letras, y luego se procederá a darles numeración. Como este tipo de cableado puede variar según las necesidades de cada estación o por diferencias de equipo, se debe elaborar una lista de la codificación asignada a estas conexiones y pegarla al gabinete para que sirva de referencia a las demás personas que trabajen con estos gabinetes y conexiones.

## **Consideraciones con respecto al equipo presente en las estaciones de telemetría.**

### **Estación tipo Bombeo.**

El equipo utilizado en este tipo de estación consiste en un conjunto de bomba-motor, cuyas características son variadas, y como dependen del lugar en donde van a ser instaladas, sus características deben ser determinadas por separado, lo cual es la labor del Departamento de Bombeo.

Con respecto a los sensores para variables eléctricas, según los ingenieros de dicho departamento se debe utilizar un medidor que sea capaz de realizar mediciones de voltaje corriente y potencia, de manera que entregue los valores reales e imaginarios de dichas variables. Dicho medidor se debe conectar a la alimentación de la bomba. Los datos recolectados los envía por el puerto RS-485. El resto de especificaciones técnicas pueden ser encontradas en el Departamento de Bombeo en La Uruca.

### **Estación tipo Planta de Tratamiento.**

Este tipo de estación posee muchas variables y procesos, y por ende utiliza gran variedad de equipos. Para el objetivo de este documento, solamente se prestará atención a los sensores de las principales variables por monitorear, ya que el equipo restante es difícil de caracterizar, ya que también depende del tamaño y necesidades de la planta, por lo que el definir y caracterizar el equipo restante le corresponde al Departamento de Plantas de Tratamiento.

A continuación se presenta la lista de los componentes en esta estación:

#### **❖ Potenciómetros (medidores de PH) de medición continua.**

- Intervalo de lecturas 0 – 14 pH
- Temperatura de operación 0 a 100°C
- Precisión 0.1% del intervalo
- Estabilidad 0.05% del intervalo
- Repetibilidad 0.1% del intervalo
- Tiempo de respuesta máximo inmediato
- Salidas: 4 – 20 mA

❖ **Turbidímetro de medición continua.**

- Intervalo de lecturas entre 0.001 y 100 NTU (Nephelometric Turbidity Units).
- Precisión: 2% o 0.015 NTU de 0 a 40 NTU, 5% de 40 a 100 NTU
- Resolución: 0.0001 NTU de 0 a 9.9999 NTU
- NTU entre 10.000 y 99.999 NTU
- NTU sobre 1000 NTU
- Repetibilidad mayor 1.0% o 0.002 NTU.
- Tiempo de respuesta máximo de 100 segundos
- Flujo requerido de muestra entre 200 y 750 ml/min
- Temperatura de la muestra entre 0 y 50°C
- Salidas: 4 a 20 mA

❖ **Sensores de nivel en los filtros.**

Estos sensores deben ser instalados de tal forma que tomen la presión (equivalente al nivel) en el fondo del filtro. Las características mínimas de estos transductores son las siguientes:

- Para ser utilizados en tanques de hasta 10 metros.
- Su rango nominal de operación de presión manométrica deberá ser de:
- Presión mínima de 0, máxima de 10 mca.
- Señal de salida: 4-20 mA 24VDC.
- Suministro de energía: Mediante fuente externa de 11.5 a 36 voltios DC.
- Zero y máximo (Span) ajustables, además debe ser accesible, ajustable y calibrable en forma local y manual. Deben de venir preajustados en:
- Zero= 0 mca, Span = 10 mca.
- Límites de presión estática para operación: 0.035 Kg/cm<sup>2</sup> (0.5psig) a 140 Kg/cm<sup>2</sup> (2000psig).
- Límites de sobrepresión: 8.4 kg/cm<sup>2</sup> (120psig).
- Límites de humedad: de 0 a 100% de humedad relativa.
- Presión: +/- 0.1% de span calibrado.
- Conexión: mediante rosca 12mm (1/2") \ 14 NPT.

❖ **Sensor detector de fugas de gas cloro.**

- Electromecánico de difusión de gas
- De montaje en pared, resistente al agua y aprobado por UL
- 0-10 PPM de gas cloro
- Humedad ambiental 0-99 %, sin condensación
- Sistema libre de mantenimiento, lavado, purga y recalibrado (cuando se ha activado la alarma)
- Sistema de reset para nuevamente estar en condiciones de funcionar (después de una activación de alarma)

❖ **Analizador de cloro residual libre/total.**

- Celda de medición y analizador
- Medición de cloro libre y total
- Intervalo de lecturas 0. a 60.00 ppm
- Flujo de muestra entre 150 y 600 ml/min
- Temperatura de muestra 0 a 50°C
- pH entre 3 a 10
- Alcalinidad de muestra entre 0.05 y 300 ppm
- Turbiedad máxima de 300 NTU
- Precisión 1%
- Sensibilidad 1 ppb
- Repetibilidad 0.6 ppm
- Estabilidad 0.6 ppm por mes
- Tiempo de respuesta máximo 5 segundos
- Salidas: 4 – 20 mA

❖ **Conductímetro de medición continua.**

- Sensor: Tipo sin electrodos, toroidal
- Analizador
- Intervalo de lecturas
- S/cm: 0-200.0 ó 0-2000
- S/cm: 0-2.000, 0-20.00, 0-200.0 ó 0-2000
- S/cm: 0-2.000
- %Concentración 0-99.99%
- TDS 0-9999 ppm
- Temperatura de operación 0 a 100°C
- Precisión 0.5% del intervalo
- Estabilidad 0.2% del intervalo
- Repetibilidad 0.1% del intervalo
- Tiempo de respuesta máximo inmediato
- Salidas: 4 – 20 mA
- Compensación de temperatura automático de 0 a 100°C
- Separación entre sensor y el analizador de hasta 150 metros

❖

### **Válvulas inteligentes (dosificadores).**

- Capacidad de dosificación:
  - Pre dosificación: capacidad máxima 1000 lb/d
  - Post dosificación: capacidad máxima 2000 lb/d
- Emergencia: capacidad máxima 2000 lb/d
- Precisión de la calibración ¼% de cero
- Cuatro fases lineales, motor de alto poder para escalonamiento.
- Potenciometro de alimentación y válvula control de modulación de flujo gas.
- Despliegue digital para el control de funciones
- Señal de entrada: 0-10 VDC, 4-20 mA.
- Sistema de control manual o automático
- Sistema que permita almacenar la configuración y los parámetros de ingeniería.
- Deberá incluir todos los accesorios para su correcto montaje y funcionamiento

### **Estación tipo Tanque.**

Este tipo de estación de telemetría es muy simple, ya que solamente realiza la medición de nivel y caudal en el tanque. Los sensores que utiliza son:

#### **❖ Transductores de presión manométrica (0-30"H<sub>2</sub>O, 4-20 mA)**

- Rango de operación de presión manométrica: (0-150inH<sub>2</sub>O)
- Señal de salida: 4-20 mA DC.
- Suministro de energía: Mediante fuente externa de 11.5 a 36 volt. DC.
- Cero y envergadura (Span) continuamente ajustable, y además debe ser accesible ajustable y calibrable en forma local.
- Límites de presión estática para operación: 0.035 Kg/cm<sup>2</sup> (0.5psig) a 1440 Kg/cm<sup>2</sup> (2000 psig).
- Límites de Sobrepresión: 0 Kg/cm<sup>2</sup> (0 psig) a 8.4kg/cm<sup>2</sup> (120 psig).
- Límites de Humedad: de 0 a 100% Humedad relativa.
- Presión: +/- 0.1% de span calibrado.
- Conexión: Mediante rosca 12 mm (1/2") \14NPT.
- Soporte de montaje para tubo de 50 mm (2")

#### **❖ Transductores de presión diferencial (0-30"H<sub>2</sub>O, 4-20 mA)**

- Rango de operación de presión diferencial máxima: 0-7.46 kPa (0-0.76 Kg/cm<sup>2</sup>) (0-30 inH<sub>2</sub>o).
- Señal de salida: 4-20 mA DC.
- Suministro de energía: Mediante fuente externa de 11.5 a 36 volt DC.
- Cero y envergadura (Span) continuamente ajustable, y además debe ser accesible ajustable y calibrable en forma local.

- Límites de presión estática para operación: 0.035 Kg/cm<sup>2</sup> (0.5psig) a 140 Kg/cm<sup>2</sup> (2000psig).
- Límites de sobrepresión: 0 Kg/cm<sup>2</sup> (0psig) a 140 Kg/cm<sup>2</sup> (2000psig).
- Límites de humedad: de 0 a 100% Humedad relativa.
- Precisión: +/- 0.1% de span calibrado.
- Conexión: Mediante rosca 12mm (1/2) 14NPT.
- Soporte de montaje para tubo de 50 mm (2").

### **Estación tipo electroválvula.**

Este último tipo de estación también se puede considerar simple, ya que solamente realiza la medición de caudal y activación de una electroválvula. Los sensores y equipo que utiliza es el siguiente:

#### **❖ Transductores de presión diferencial (0-30"H2O, 4-20 mA)**

- Rango de operación de presión diferencial máxima: 0-7.46 kPa (0-0.76 Kg/cm<sup>2</sup>) (0-30 inH<sub>2</sub>O).
- Señal de salida: 4-20 mA DC.
- Suministro de energía: Mediante fuente externa de 11.5 a 36 volt DC.
- Cero y envergadura (Span) continuamente ajustable, y además debe ser accesible ajustable y calibrable en forma local.
- Límites de presión estática para operación: 0.035 Kg/cm<sup>2</sup> (0.5psig) a 140 Kg/cm<sup>2</sup> (2000psig).
- Límites de sobrepresión: 0 Kg/cm<sup>2</sup> (0psig) a 140 Kg/cm<sup>2</sup> (2000psig).
- Límites de humedad: de 0 a 100% Humedad relativa.
- Precisión: +/- 0.1% de span calibrado.
- Conexión: Mediante rosca 12mm (1/2) 14NPT.
- Soporte de montaje para tubo de 50 mm (2").

#### **❖ Válvulas de solenoide de 2 vías**

- Para usarse con agua potable a temperatura ambiente, y expuesta a la intemperie.
- Diámetro nominal 12mm (1/2")
- El cuerpo de la válvula debe ser inoxidable.
- Rosca tipo NPT 12mm, hembra.
- Para operar Normalmente Abierta (NO) o Normalmente Cerrada (NC) según se especifique.
- Alimentación 120VAC

## **Equipo dentro del gabinete de telemetría:**

### **❖ Controladores lógicos programables indicadores**

- Con capacidad para procesar al menos cuatro señales analógicas de entrada del tipo 4-20 mA DC.
- Debe contar con un puerto de comunicaciones de cualquiera de estos tipos: RS - 232c para retransmisión de las señales recibidas en forma digital. Las comunicaciones debe realizarlas mediante el protocolo MODBUS.
- Debe incluirse el manual de operación, el software y/o el protocolo para comunicación y configuración.
- Alimentación eléctrica requerida de 120 VAC (+/- 10%) 60 Hz.
- Con capacidad para suministrar energía de 24-26 Vcd, 80 mA, para los lasos de corriente de las señales analógicas. Protección de corto circuito y sobrecarga.
- Límite máximo de temperatura de operación de 52 °C y humedad relativa máxima de 90%.

### **❖ Radio-módem**

- Para funcionar en la frecuencia de 458 MHz o la frecuencia que asigne la institución para tal fin.
- Debe contar con interfaz RS-232 para puerto de comunicaciones seriales del computador.
- Debe tener un alcance de al menos 50 Km y deberán tener la capacidad de funcionar como repetidor.
- Deberán ser capaces de trabajar con antena unidireccional para operar en la estación remota o con antena multidireccional para operar en la estación maestra.
- Certificar 12 meses de garantía de fábrica en todos sus componentes.

### **❖ Fuente de 12 VDC.**

- Fuente regulada de poder eléctrico con capacidad de suministrar energía en forma continua de 12VDC y 20A, a los radio-módem.
- Alimentación eléctrica de entrada requerida de 120 VAC (+/- 10%) 60 Hz.
- Capacidad para recargar las baterías de respaldo.

### **❖ Otros materiales y accesorios**

- Ventilador, 12 VDC, 500mA, 118x118mm
- Batería 28 amp/h, 12 VDC Marathon, M12V3
- Batería respaldo RS-12 A BB
- Breaker (7 A Disp rápido)
- El cable a utilizar en las antenas debe ser igual o superior al BELDEN 9913.

- Las antenas yagui deben ser iguales o superiores a la MAXRAD MYA4503, ganancia mayor a 6dB, para funcionar en la banda de 458.65Mhz, conectores PL macho.
- Los protectores de sobrecarga deben ser iguales o superiores al POLYPHASER IS-50NX-C2 con conectores PL macho. Deben incluir los accesorios de sujeción de la antena al mástil.
- Se deben usar bornes de 6mm para montaje en riel DIN, para el cableado de la alimentación de 120VAC y las tierras.
- Se deben utilizar bornes de 2.5mm para montaje sobre riel DIN, para las conexiones de control.
- Todas las líneas del cableado de control deberán quedar protegidas por ducto acanalado plástico y debidamente rotuladas y numeradas. Se recomienda el uso de cable de control TFF 18 AWG
- Para cada señal analógica 4-20 mA que sea conectada al Panel, proveniente de los sensores, debe suministrarse un supresor de transientes de línea de 4-20mA, con las siguientes características mínimas:
  - Para montar en riel DIN
  - Para ser usado en la protección de lazos de control de 4-20mA, 24VDC.
  - Voltaje máximo 48V
  - Voltaje residual 70V
  - Corriente de descarga nominal 5kA
  - Máxima corriente de descarga 20kA
  - Igual o superior al CITEL DL-48D3
  - Deberán dejarse previstas bornes terminales para la conexión de todo cableado externo al Panel.

### Diagrama de flujo de las funciones realizadas por el PLC.

A continuación se presenta un diagrama de flujo, el cual muestra las rutinas realizadas por el PLC en las estaciones de tanque, bombeo y electroválvula.

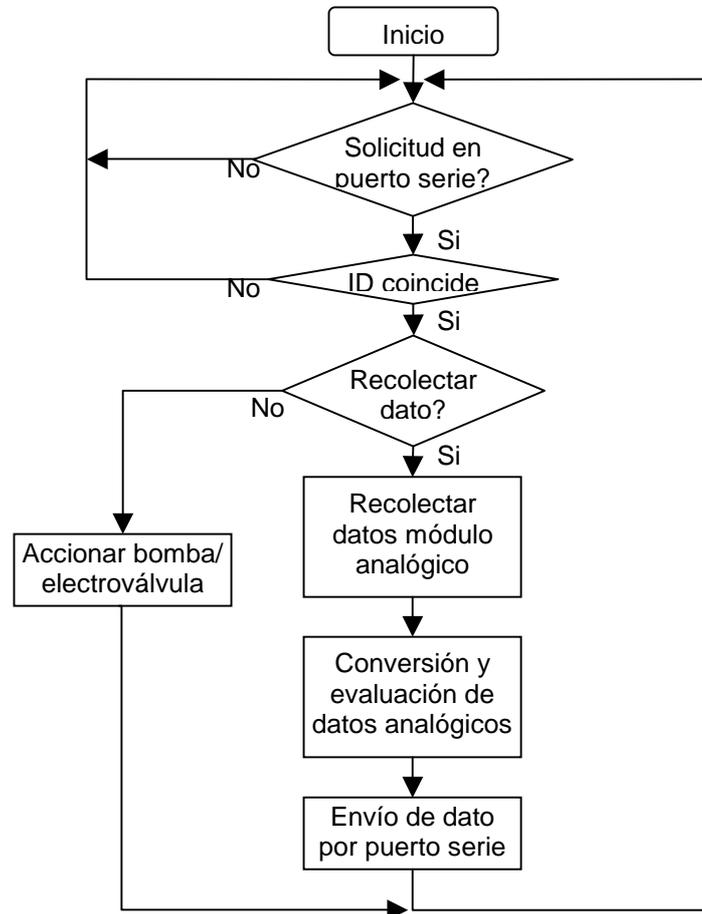


Figura 3. Diagrama de flujo para el PLC

Esta programación varía para las estaciones de planta de tratamiento y algunas de bombeo, por poseer una mayor cantidad de equipos y variables que necesitan ser monitoreadas. Esta variación de la programación consiste en implementar rutinas que logren reconocer todas las variables de control (actuadores de bombas o electroválvulas) y monitoreo (sensores), por lo que se debe discriminar entre todos los tipos de elementos conectados al PLC.

Elaborado por Alberto Suárez Vargas

Agradezco los aportes realizados por el personal del Departamento de Control Operacional, en especial a: Ing. Rodrigo Meneses, Ing. Carlos Camacho, Ing. Eduardo Rocha, Ing. Ileana Carvajal e Ing. Marvin Coto.

## **Apéndice A.3 Información sobre la institución**

### **A.3.1 Descripción de la institución**

Los antecedentes de esta institución datan de 1961 cuando mediante la ley No. 2726 se crea el Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SNAA) con sus objetivos generales y estratégicos, el 14 de abril del mismo año. Su propósito fundamental sería el financiamiento, construcción, mantenimiento y operación directa de estos servicios.

Mediante la ley No. 5915, del 12 de julio de 1976, el SNAA se transforma en el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Se le da autonomía de gestión y financiera, facultades en la administración y operación de agua potable y alcantarillado sanitario, así como el maximizar la eficiencia en el servicio, y concientizar acerca de los peligros que pueden sobrevenir si no se toman las medidas necesarias para el uso racional del agua.

A partir de 1994 la Institución se enfrenta a un proceso de modernización que le permita hacerle frente a las exigencias del siglo XXI. Con esta reestructuración se adquirió equipo operativo de alta tecnología, así como sistemas y equipos computarizados para agilizar la calidad del servicio, disminuyendo sustancialmente los plazos de instalación, mantenimiento y reparación de los mismos.

En dicho proceso de modernización, se creó el departamento de control operacional, el cual sería el encargado de controlar y darle mantenimiento al equipo de alta tecnología que se había adquirido.

Actualmente el AyA cuenta con alrededor de 3700 empleados, y su gerente general es el M.B.A. Heibel Rodríguez Araya.

### **A.3.2 Descripción del departamento en que se realizó el proyecto**

El Departamento en el que se realizó el proyecto es el de Control Operacional, formado en 1994, con el propósito de proporcionar un acceso total a la información correspondiente del sistema de abastecimiento de agua, control sobre válvulas importantes y unidades de producción estratégicas; donde los

mandos se ejecutarían por los operadores del centro de control. Además se dedican a dar mantenimiento al equipo electrónico, vehículos y equipo especial, también del control de operaciones del sistema de acueductos.

La información se transmite desde cada estación hacia el centro de control ubicado en la Uruca, por medio de un sistema de telemetría que consta de las setenta y cinco estaciones remotas. Todo con el objetivo de que se ayude a tomar decisiones tendientes a la disminución de pérdidas, a la optimización de los sistemas o a la planificación del crecimiento de estos.

Actualmente el AyA cuenta con alrededor de 3700 empleados, donde laboran alrededor de 500 empleados en el plantel de la Uruca. El Departamento de Control Operacional consta de 6 ingenieros, los cuales pertenecen a las ramas de mantenimiento industrial, civil, eléctrica, y electrónica.

El gerente general es el MBA. Heibel Rodríguez Araya, el jefe del departamento de control operacional es el Ingeniero Rodrigo Meneses Obando.

#### **A.3.4 Antecedentes prácticos**

Como antecedentes de este proyecto de graduación cabe mencionar el proyecto elaborado por el Ingeniero Marvin Coto, cuyo nombre es “Diagnóstico y evaluación del sistema de telemetría del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados” mencionado en la bibliografía, quien realizó un estudio sobre la los radio-módems y los PLCs de todas las estaciones remotas existentes en el AyA, para evaluar la situación existente en ese período (2003).

Además en ese proyecto se definió una distribución para el gabinete de PLC y otra para el gabinete del Radio-módem, tratándolos por separado.

## Apéndice A.4 Fotografías de las giras a diferentes estaciones.

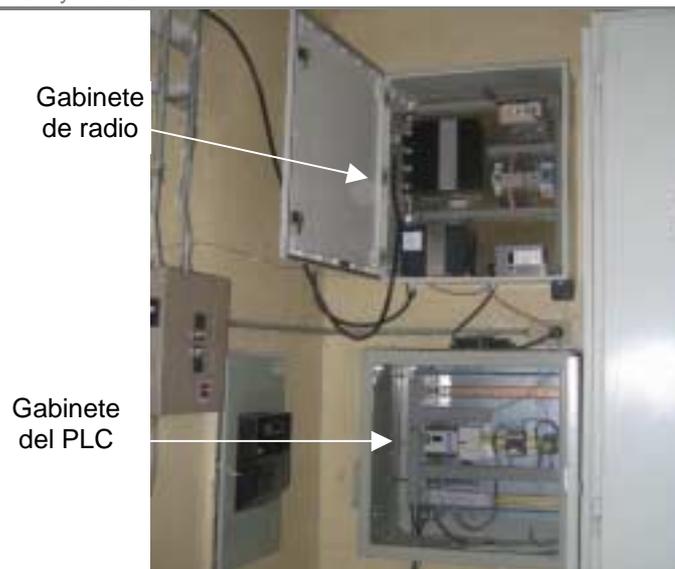
Estación de rebombeo en Calle Nueva de Alajuelita



Figura A.4.1 Tanque y bombeo de la estación remota



Figura A.4.2 Control para bombas y estación de telemetría



**Figura A.4.3** Estación de telemetría



**Figura A.4.4** PLC con módulo analógico

### Estación de bombeo en Puente de Mulas



**Figura A.4.5** Estación de bombeo Puente de Mulas



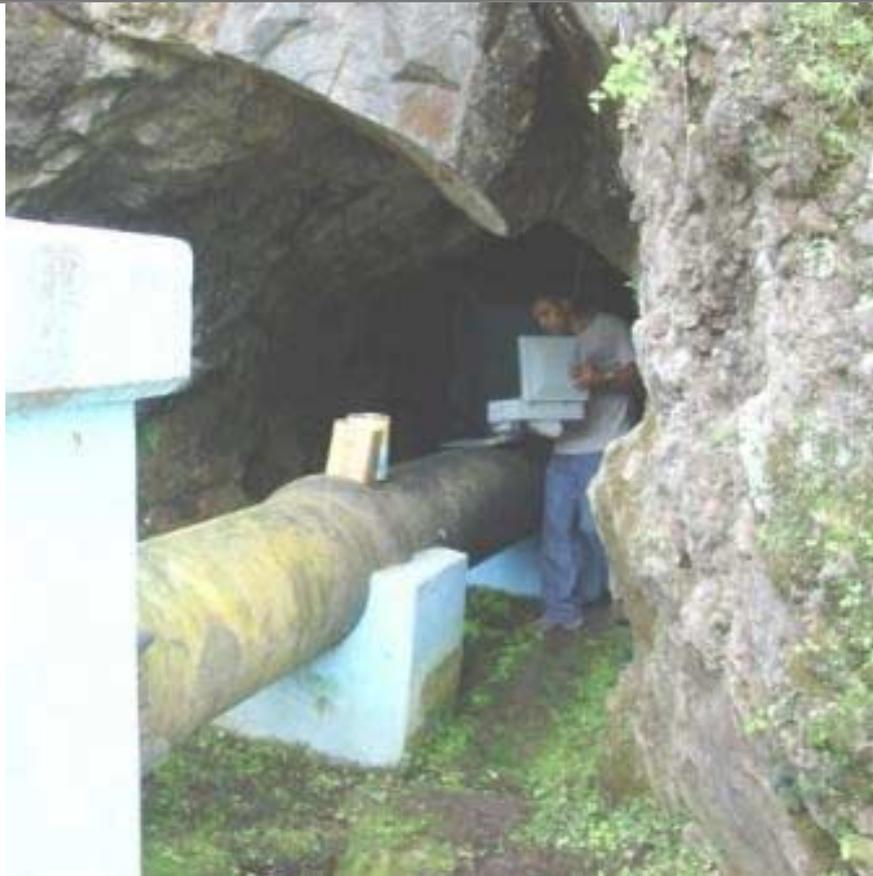
**Figura A.4.6** Bombeo y control del bombeo



**Figura A.4.7** Control manual ON/OFF de las bombas



**Figura A.4.8** Panel de control de parámetros de operación para el bombeo



**Figura A.4.9** Tubo de toma de agua del pozo de filtración de agua



**Figura A.4.10** Túnel del pozo de filtración de agua.

## Planta de tratamiento en Guadalupe



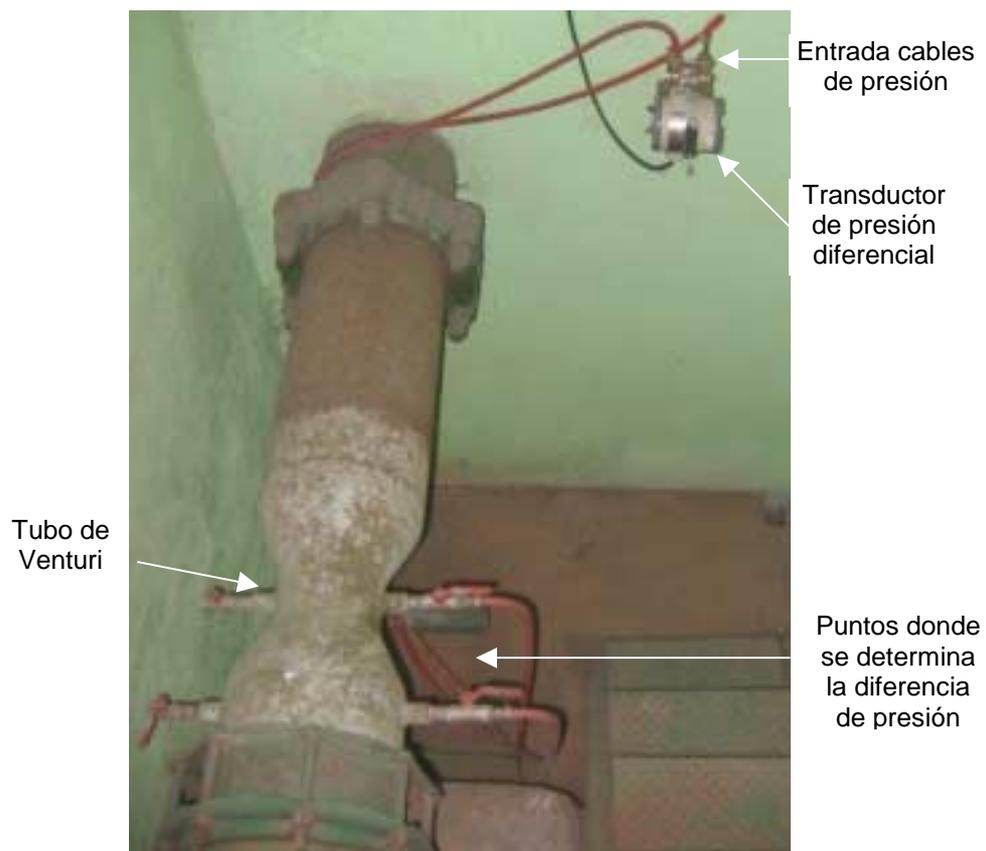
**Figura A.4.11** Tanque para retención del agua



**Figura A.4.12** Sistema de medición de nivel



**Figura A.4.13** Campana captadora de presión.



**Figura A.4.14** Medidor de caudal



Figura A.4.15 Gabinete del PLC.

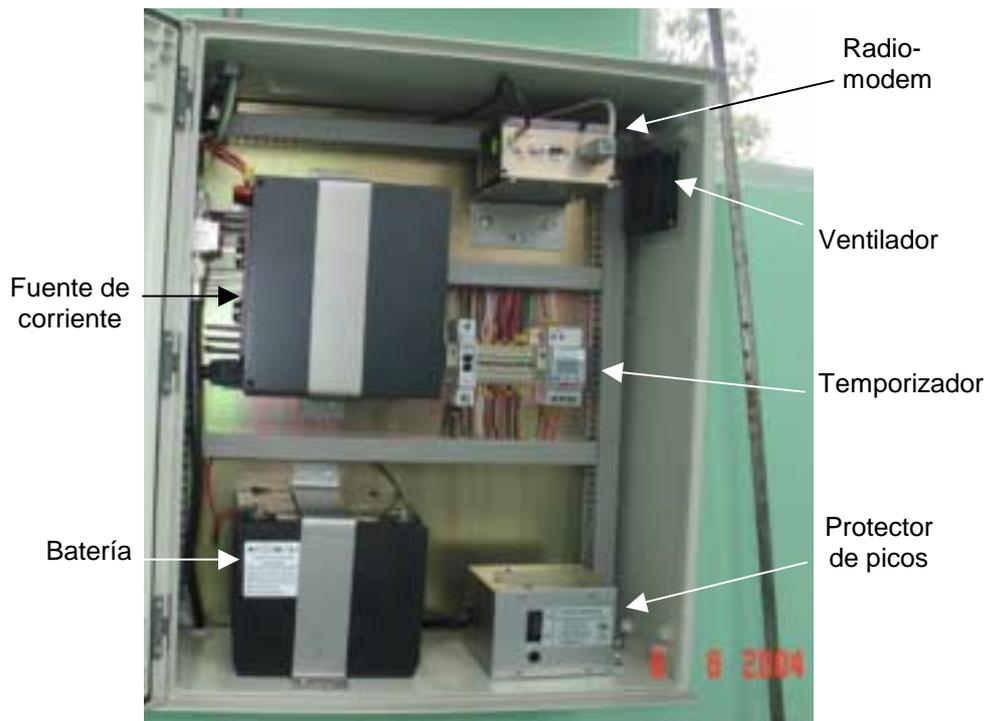


Figura A.4.16 Gabinete para el equipo de Radio-módem

### Visita a tanques en Bello Horizonte



**Figura A.4.17** Tanque Bello Horizonte 1



**Figura A.4.18** Tanque Bello Horizonte 2



**Figura A.4.19** Electro válvula junto con dos válvulas mecánicas.



**Figura A.4.20** Medidor de caudal



**Figura A.4.21** Control de electroválvula y gabinete del PLC.

Visita a válvulas en pista a Escazú, a la altura de Multiplaza.



**Figura A.4.22** Poste primario de electricidad a 30 m de las válvulas



**Figura A.4.23** Ingeniero Eduardo Rocha abriendo contenedor del medidor de caudal.



**Figura A.4.24** Contenedor del medidor de caudal



**Figura A.4.25** Tubería con medidor de caudal mecánico-eléctrico.



**Figura A.4.26** Medidor de caudal mecánico con salida digital.



**Figura A.4.27** Válvulas mecánicas

## **Anexos**

## **Anexo B.1 Especificaciones técnicas de los equipos**

(Tomado de LPR-2004-015)

### **D.1 Sensores de presión manométrica, para medición de nivel de tanque.**

- Sensor de presión manométricas ó columna de agua (m.c.a.), con señal de salida de 4-20mA.
- Utilizado para la medición de los variaciones en la altura de los tanques de almacenamiento de agua.
- Para funcionar con agua a temperatura ambiente.
- Para ser utilizados en tanques de 10 metros.
- Su rango nominal de operación de presión manométrica deberá ser de:
- Presión mínima de 0 mca.
- Presión máxima de 10 mca.
- Señal de salida: 4-20 mA 24VDC.
- Suministro de energía: Mediante fuente externa de 11.5 a 36 voltios DC.
- Zero y máximo (Span) ajustables, además debe ser accesible, ajustable y calibrable en forma local y manual. Deben de venir preajustados en:
  - Zero= 0 mca.
  - Span = 10 mca.
- Límites de presión estática para operación: 0.035 Kg/cm<sup>2</sup> (0.5psig) a 140 Kg/cm<sup>2</sup> (2000psig).
- Límites de sobrepresión: 8.4 kg/cm<sup>2</sup> (120psig).
- Límites de humedad: de 0 a 100% de humedad relativa.
- Presión: +/- 0.1% de span calibrado.
- Conexión: mediante rosca 12mm (1/2") \ 14 NPT.
- Deberá traer la escuadra de montaje para fijar a la pared o a un bastidor por medio de tornillos el sensor.
- Deberá traer una abrazadera para tubos, en un tubo de montaje horizontal o vertical de 50 a 60 mm de diámetro.
- La características deberán ser iguales o superiores a los:
  - Serie 20885 de ROSEMOUNT.
  - SITRANS P series MK II modelo 7MF4010 de SIEMENS.
- Se debe de incluir información técnica que respalde el cumplimiento de las especificaciones y de las certificaciones que cumple.
- Deben de incluir para cada uno de los equipos su manual de operación, calibración y mantenimiento.
- Si es necesario algún dispositivo y software para calibración, configuración y programación, debe incluirlo en la oferta.

### **D.2 Sensores de presión diferencial para medición de caudales.**

- Sensor de presión diferencial con señal de salida de 4 a 20 mA.
- Para ser utilizado en las mediciones y monitoreo de presiones diferenciales en los sistemas de medición de flujos.
- Para funcionar con agua a temperatura ambiente.
- Su rango de operación diferencial máxima será: 0--3 m.c.a.
- Señal de salida: 4-20 mA 24VDC.

- Zero y máximo (Span) ajustables, además debe ser accesible, ajustable y calibrable en forma local y manual.
- Suministro de energía: Mediante fuente externa de 11.5 a 36 voltios DC.
- Límites de presión estática para operación: 140 Kg/cm<sup>2</sup> (2000psig).
- Límites de sobrepresión: 0 Kg/cm<sup>2</sup> (0psig) a 140 kg/cm<sup>2</sup> (2000psig).
- Límites de humedad: de 0 a 100% de humedad relativa.
- Presión: +/- 0.1% de embergaura calibrado.
- Conexión: mediante rosca 12mm (1/2") \ 14 NPT.
- Deberá traer la escuadra de montaje para fijar a la pared o a un bastidor por medio de tornillos el sensor.
- Deberá traer una abrazadera para tubos, en un tubo de montaje horizontal o vertical de 50 a 60 mm de diámetro.
- La características deberán ser iguales o superiores a los:
- Serie 1151 de ROSEMOUNT.
- Series 3000 de HONEYWELL.
- Se debe de incluir información técnica que respalde el cumplimiento de las especificaciones y de las certificaciones que cumple.
- Deben de incluir para cada uno de los equipos su manual de operación, calibración y mantenimiento.
- Si es necesario algún dispositivo y software para calibración, configuración y programación, debe incluirlo en la oferta.

### **D.3 Controladores lógicos programables indicadores.**

- Controlador lógico programable (PLC).
- Entradas analógicas: con capacidad para adquirir y procesar al menos cuatro (4) señales analógicas de entrada del tipo 4-20 mA 24VDC.
- Entradas digitales: con capacidad para adquirir y procesar al menos cuatro (4) señales digitales de entrada para variables discretas (on/off)
- Salidas analógicas: debe contar con al menos 4 salidas analógicas del tipo 4-20mA DC.
- Salidas digitales: debe contar con al menos 4 salidas digitales discretas (on/off).
- Con capacidad de desplegar la información recibida en forma gráfica o digital mediante un panel frontal, ya sea mediante pantalla incorporada o mediante módulo de display.
- Debe contar con dos (2) puertos de comunicaciones de tipo RS-232 para retransmisión de las señales recibidas en forma digital hacia el computador. De no contar con puertos RS-232, se acepta el tipo de puerto RS-485, siempre y cuando se adjunte un cable de conversión a RS-232 (PC/PPI) para cada PLC.
- Con capacidad de procesamiento para al menos:
- Memoria de programa:>8kbytes.
- Memoria de datos:>5kbytes
- Contadores rápidos:4
- Marcas, temporizadores uy contadores: 256 de cada uno
- Tipo de memoria de datos: remanente.
- Funciones matemáticas elementales con capacidad de manejo de variables de punto flotante: suma, resta, multiplicación, división, exponenciación, raíz cuadrada, logaritmos, etc.
- Puertos de comunicación: 2.

- Debe contar con un puerto independiente de programación y configuración. Además deberá incluir el software de configuración y calibración y todos los dispositivos y cables necesarios para tal efecto.
- Las comunicaciones debe realizarlas mediante el protocolo MODBUS RTU. En su defecto incluir los driver de software de comunicaciones con la Interfase Hombre Máquina del sistema de adquisición de datos y control indicado en el apartado 2.
- Debe tener al menos (4) cuatro canales de integración en el tiempo y totalizadores de las señales recibidas.
- Debe incluirse el manual de operación, el software y/o el protocolo para comunicación y configuración. Debe incluir todos los cables de comunicación y programación que requiera el dispositivo. Deberá de traer el software de programación, configuración y calibración para los PLCs y el protocolo para comunicación y configuración, y será uno para todos los PLCs , el precio del mismo deberá incluir en la oferta.
- Alimentación eléctrica requerida de 120 VAC (+/- 10%) 60 Hz.
- Con capacidad para suministrar energía de 24-26 Vdc, 80 mA, para los lazos de corriente de las señales analógicas. Debe contar con protección de corto circuito y sobrecarga.
- Límite máximo de temperatura de operación de 52 °C y humedad relativa máxima de 90%.
- Para ser montado sobre riel DIN, junto con sus módulos.
- La características deberán ser iguales o superiores a los:
- AUTOMATA SIEMENS SERIE S7 CPU-226.
- PLC MITSUBISHI SERIES Fx2N-24R.
- Se debe de incluir información técnica que respalde el cumplimiento de las especificaciones y de las certificaciones que cumple.
- Si es necesario algún dispositivo y software para calibración y configuración, debe incluirlo en la oferta.

#### **D.4 Cajas de protección.**

- Deberá ser sellada para intemperie.
- Gabinete de protección con capacidad para albergar cómodamente al PLC, sus accesorios y fuentes de poder. El gabinete puede ser metálico ó plástico.
- Debe contar fondo falso y rieles DIN para el montaje del PLC, los módulos y los demás accesorios (disyuntores y conexiones).
- Debe contar con llavín y puerta desmontable.
- Las dimensiones mínimas deberán ser:
- Ancho cm.
- Altura cm.
- Fondo cm.
- Deberá traer los tornillos para su ensamble.
- La características deberán ser iguales o superiores al: Modelo del GT 2 de la SIEMENS.

#### **D.5 Fuente de alimentación ininterrumpida UPS.**

- Capacidad 1.5kVA ó superior.
- Alimentación de energía de 120VAC +-10% 60Hz.

- Voltajes de salida a 110VAC (27ª). Debe tener al menos 4 salidas.
- Con capacidad de sobrecarga de al menos 130% por 1.5s.
- Con protección de sobrecarga y corto circuito.
- Capacidad de mantener media carga durante 150 minutos.
- Las características deberán ser iguales o superiores a la: BEST POWER 610

#### **D.6 Módulos de entradas analógicas para PLC Siemens**

- Compatible con los PLC Siemens S7-222, S7-224 y S7-226
- Con capacidad para procesar al menos tres entradas analógicas de 4-20mA
- Para montar sobre riel DIN
- Con capacidad para conexión en cascada
- Fuente de alimentación de 24VDC proveniente del PLC
- Igual o superior al Siemens EM-235

#### **D.7 Módulos de entradas analógicas para PLC Mitsubishi**

- Compatible con los PLC Mitsubishi modelo FX1N
- Con capacidad para procesar 4 entradas analógicas de 4-20mA
- Para montar sobre riel DIN
- Con capacidad para conexión en cascada
- Fuente de alimentación de 24VDC proveniente del PLC
- Igual o superior al Mitsubishi FX2N-4AD

#### **D.8 Módulos de display PLC Mitsubishi**

- Compatible con los PLC Mitsubishi modelo FX1N
- Con capacidad para desplegar 4 líneas de texto
- Con botones para operación local del display y selección y configuración de variables en el PLC.
- Para montar sobre la carátula del PLC
- Con capacidad para conexión en cascada de puerto de expansión
- Igual o superior al Mitsubishi FX2N-4AD

#### **D.9 Fuentes de 12 VDA.**

- Fuente regulada de poder eléctrico con capacidad de suministrar energía en forma continua de 12VDC y 20A, a los radio-módem.
- Alimentación eléctrica de entrada requerida de 120 VAC (+/- 10%) 60 Hz.
- Capacidad para recargar las baterías de respaldo.
- Las características deberán ser igual o superior al: Astron RS 20A-BB.
- Certificar 12 meses de garantía de fábrica en todos sus componentes.

#### **D.10 Válvulas de solenoide de 2 vías**

- Para usarse con agua potable a temperatura ambiente, y expuesta a la intemperie.
- Diámetro nominal 12mm (½")
- El cuerpo de la válvula debe ser inoxidable.
- Rosca tipo NPT 12mm, hembra.
- Para operar Normalmente Abierta (NO) ó Normalmente Cerrada (NC) según se especifique en la lista de cantidades.
- Alimentación 115VAC

## Anexo B.2 Características eléctricas del equipo de bombeo

La tabla siguiente fue tomada de la licitación LPR-2004-065

**Tabla B.1** Resumen de conjuntos motor - bomba sumergibles

BOMBAS								MOTORES				
Ítem #	Código	Poten- cia Req. HP	Caudal L/s.	m.c.a	Efi- cien. > %	Ø Ext. Máx. mm.	Ø Desc. mm.	Poten- cia Dispon. HP	Voltaje Nomi- nal <sup>1</sup>	# fases	F.P.	Ø Ext. mm.
1	1AS	5	D.L.	D.L.	70	100	50	5	230	1	1,15	100
2	2AS	7,5	D.L.	D.L.	70	150	75	8	230	1	1,15	150
3	3AS	10	D.L.	D.L.	70	150	75	10	230	1	1,15	150
4	4AS	15	D.L.	D.L.	70	150	75	15	230	1	1,15	150
5	1 RPC	11	10	80	70	200	100	15	460	3	1,15	200
6	2 RPC	12	13	75	70	200	100	15	460	3	1,15	200
7	3 RPC	8	5	125	65	200	100	10	230	1	1,15	200
8	4 RPC	37	12	237	70	200	100	50	460	3	1,15	200
9	3 RCH	31	25	95	72	170	100	40	460	3	1,15	170
10	4 RH	5	Gould 5CLC- 2, Serie 697269		70	152,4	----	5	230	1	1,15	----
11	1 RB	25	33	57	70	150	100	30	460	3	1,15	150
12	9 RB	11	5	162	70	150	75	15	230	1	1,15	150
13	14 RB	7	3	169	70	150	75	10	230	1	1,15	150
14	21 RB	18	20	70	70	150	100	25	230	3	1,15	150
15	31 RB	7	10	50	70	150	75	10	230	3	1,15	150
16	38 RB	4	6	50	70	150	75	5	230	3	1,15	150
17	40 RB	15	16	70	70	150	100	20	230	3	1,15	150
18	54 RB	11	25	32	70	150	75	15	230	3	1,15	150
19	61 RB	5,3	16	25	70	150	75	7,5	230	1	1,15	150
20	69 RB	3	8	30	70	150	75	5	230	1	1,15	150
21	73 RB	1,1	4	20	70	100	50	2	230	1	1,15	100
22	77 RB	1,1	4	20	70	100	50	2	230	1	1,15	100
23	87 RB	1,1	4	20	70	150	75	2	230	1	1,15	150
24	91 RB	4	5	55	70	150	75	5	230	1	1,15	150
25	96 RB	6.3	8	60	70	150	50	7,5	230	1	1,15	150

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Informe Final de Proyecto de Graduación

26	104 RB	17	12	106	70	150	100	20	460	3	1,15	150
27	8 RC	5,9	4	112	62	146,05	100	10	230	1	1,15	150
28	9 RC	6,3	4	120	65	146,05	50	10	230	1	1,15	150
29	12 RC	4,4	4	84	65	150	75	7½	230	1	1,15	150
30	18 RC	11	9	95	75	150	75	20	230	3	1,15	150
31	23 RC	14	4	267	65	150	75	25	460	3	1,15	150
32	26 RC	21	9	176	72	150	100	30	460	3	1,15	150
33	27 RC	19	9	161	75	150	100	30	460	3	1,15	150
34	28 RC	7	7	72	74	150	75	10	230	1	1,15	150
35	29 RC	10	7	112	74	150	75	15	230	3	1,15	150
36	30 RC	5,9	9	50	75	150	75	10	230	3	1,15	150
37	31 RC	4	6	45	71	150	75	7½	230	3	1,15	150
38	38 RC	4,7	6	60	72	146,05	75	7½	230	1	1,15	150
39	41 RC	49	25	150	80	190,5	101,6	75	460	3	1,15	203,2
40	42 RC	28	15	140	77	177,8	100	40	460	3	1,15	203,2
41	43 RC	41	25	125	80	190,5	100	60	460	3	1,15	203,2
42	44 RC	96	56	130	84	250	150	125	460	3	1,15	200
43	49 RC	41	25	125	80	190,5	100	60	460	3	1,15	150
44	1 ELO	2	3	D.L.	70	100	50	2	230	1	1,15	100
45	7RCH/ LC	41	18	175	75	150	100	75	460	3	1,15	150
46	10RCH/ MB	22,2	10	90	54	----	----	30	460	3	1,15	----
47	12RCH/ PY	43,9	38	65	75	200	150	50	460	3	1,15	200

D.L.: Descarga Libre.

<sup>1</sup>/Voltaje Nominal: ± 5%.

**Tabla B.2** Requerimientos de los equipos para tabla B.1

1	Se requiere que el equipo solicitado sea de caudal (descarga libre para realizar pruebas de bombeo. Las bombas igual o similar a la Marca Grunfos y los motores similar o igual a la marca Franklin Electric.
2	Material cuerpo de bomba: Hierro Fundido. Revestimiento interno de los tazones: vitrificado (enamell o similar). Impulsores: material bronce o acero inoxidable balanceados dinámicamente. Incluirá una rejilla para la succión, protector para cable, acople de ejes bomba-motor y los 4 tornillos de acople con el motor Potencia del motor: Será la potencia requerida por la bomba, la cual no será mayor a la del motor eléctrico, en cualquier punto de la curva de operación. factor de servicio: 1.15. Tipo de motor: Lubricado por agua, montado en bujes de carbón, arranque directo a la línea con conector o brida de 4 puntas (3 cables de potencia y 1 para tierra).
3	Indicar marca y modelo de la bomba. Deberán presentar curvas características de la bomba de caudal vrs carga, potencia consumida y eficiencia. Indicar el diámetro de los impulsores y señalar claramente el punto de operación.
4	Debe incluir conjunto de protección para motor sumergible, el que recibirá la información del devanado del motor. Debe incluir las bobinas e inserto acorde con la potencia del motor. Debe sensar según ajuste: <ul style="list-style-type: none"> <li>•Sobrecarga.</li> <li>•Baja carga.</li> <li>•Temperatura del devanado "recalentamiento y sobrecalentamiento.</li> <li>•Sobre ciclaje.</li> </ul>
5	Los equipos deben ser iguales o equivalentes en capacidad y dimensiones a los de la Marca y Modelos solicitados, dado que las características físicas del lugar donde serán instalados exigen que sean exactamente estos equipos. Cualquier cambio a otro equipo similar a lo solicitado, podría acarrear costos adicionales para reacondicionar los sitios a las características nuevas del equipo. Además AyA cuenta con repuestos aprovechables en las marcas y modelos indicados.
6	Con arranque directo a la línea, voltajes de operación 230/1Ø/60 y de control 230 /1Ø/ 60. El Tablero incluirá: interruptor termomagnético o breaker Tipo Industrial; contactor magnético con relé térmico tipo disparo rápido ajustable; relé de protección para sobre y bajo voltaje; - Pararrayos tipo auto válvular, control de nivel para pozo con tres electrodos, Interruptor de presión de rango de 0 a 7 Kgr/cm <sup>2</sup> ; rele de tiempo ajustable desde 0 hasta 60 minutos; luz piloto de operación y disparo térmico; maneta 0 - Auto; reloj programador digital con batería de respaldo; regleta de conexiones, barra de neutro aislada, barra de tierras, Regleta de conexiones numerada; caja metálica con llavín tipo Nema 1. EN SU PARTE FRONTAL EL TABLERO DEBERA INCLUIR: indicador luminoso de operación color verde; indicador luminoso de disparo térmico, color rojo; indicador luminoso de espera por tiempo, color azul; horímetro; botoneras de arranque-pare manual; maneta de posiciones: Manual-Auto, indicador luminoso de operación, color verde; indicador luminoso de disparo térmico, color rojo; indicador luminoso de espera por tiempo, color azul; horímetro; botonera de arranque manual.
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Todo el alambrado debe quedar debidamente numerado</li> <li>•La alimentación del control es a 230 V. y debe tomarse de la parte superior del disyuntor (breaker y relevador de sobrecarga).</li> <li>•Los componentes de protección deben actuar en manual y automático.</li> <li>•El control de niveles del tanque de distribución y el reloj programador deben quedar en la parte automática.</li> <li>•Deben incluir planos de construcción.</li> </ul>

**Anexo B.3 Instructivo de plantas de tratamiento de filtración rápida**

*INSTITUTO COSTARRICENSE DE  
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS*

*Instructivo de Plantas de Tratamiento  
de Filtración Rápida*



*REGION METROPOLITANA, - PLANTAS*

## **TRANSMISION DE ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL AGUA**

### **SE CITAN ALGUNOS EJEMPLOS**

*Las enfermedades transmisibles por el agua, son aquellas en las que los organismos patógenos se encuentran dentro de esta y cuando se ingieren en una dosis suficiente infectan al consumidor.*

*Estos microorganismos patógenos llegan al agua mediante la contaminación con excretas humanas y posteriormente ingresan al hombre por la boca. De allí el término fecal - oral.*

*Es importante indicar que muchas de estas enfermedades pueden transmitirse por otros medios, por ejemplo mano-boca, alimentos contaminados con material fecal.*

### **BACTERIAS.**

***Salmonella typhi:*** Fiebre Tifoidea: Fiebre continua anorexia, tos no productora de esputo, esplenomegalia, etc.

***Salmonella paratyphi:*** Fiebre Paratifoidea: Fiebre continua, diarrea, invasión del tejido linfático del mesenterio e intestino, etc.

***Shigella: Shigelosis:*** Diarrea, fiebre, náuseas, heces mucosanguinolentas

***Vibrio Cólera:*** Diarrea en agua de arroz, vómito, deshidratación.

### **VIRUS:**

***Enterovirus:*** Gastroenteritis: Náuseas, vómito, deshidratación.

***Rotavirus:*** Diarrea: Deshidratación y vómito.

***Hepatitis A:*** Hepatitis infecciosa: Fiebre, anorexia, náuseas e ictericia.

### **PROTOZOARIOS:**

***Entamoeba histolítica:*** Amebiasis: Fiebre, diarrea mucosanguinolenta, alterna con periodos de estreñimiento, puede presentar ulceración cutánea.

***Giardia Intestinalis:*** Giardiasis: Diarrea crónica, heces líquidas y pálidas grasosas, fatiga, pérdida de peso mala absorción de grasas y vitaminas.

**HELMINTOS:**

**CLASE NEMATODA:**

*Ascaris Lumbricoide: (Lombrices): Ascariasis: Infección helmíntica del intestino delgado, trastornos digestivos, nutricionales y migración de los gusanos al hígado, páncreas, pulmones, etc.*

**DEFINICIONES Y NORMAS PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO**

*Bajo el concepto de agua potable, entendemos agua segura para el ser humano desde el punto de vista Físico-Químico y Microbiológico.*

*Este concepto, se rige y evalúa por normas de calidad para agua de consumo humano, con el fin de proteger la salud pública, ajustando, eliminando o reduciendo al mínimo aquellas sustancias o características del agua que puedan representar riesgos al consumidor.*

*A continuación se presentan algunos de los parámetros más importantes para evaluar el agua de consumo humano.*

**PARAMETROS BACTEREOLÓGICOS**

**CUADRO N° 1**

<b>ORIGEN</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>VALOR RECOMENDADO</b>	<b>VALOR MAXIMO PERMISIBLE</b>
A - Todo tipo de agua de bebida	Coliforme Fecal	Negativo	Negativo
B - Agua que entra al sistema de distribución	Coliforme Fecal	Negativo	Negativo
	Coliforme Total	Negativo	< 4
C - Agua en el sistema de distribución	Coliforme Fecal	Negativo	Negativo
	Coliforme Total	Negativo	< 4

*Para el punto C, en muestras puntuales, no debe ser detectado en un 95% de las muestras anuales.*

**PARAMETROS ORGANOLEPTICOS**

**CUADRO N°. 2**

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR RECOMENDADO	VALOR MAXIMO PERMISIBLE
Color Verdadero	U.C.	1	15
Turbiedad	U.N.T.	1	5
Olor	Factor Diluc.	0	2 a 12 °C.* 3 a 25 °C.
Sabor	Factor Diluc.	0	2 a 12 °C. 3 a 25 °C.

- C\* = Grados centigrados.

**PARAMETROS PARA SUSTANCIAS NO DESEADAS**

**CUADRO N°. 3**

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR RECOMENDADO	VALOR PERMISIBLE
Nitratos	mg/l.	25	50
Nitritos	mg/l.		0.21 a 3
Amonio	mg/l.	0.05	0.5
Hierro	mg/l.		0.3
Manganeso	mg/l.	0.1	0.5
Fluoruro	mg/l.		0.7 a 1.5

**PARAMETROS PARA SUSTANCIAS INORGANICAS  
SIGNIFICADO PARA LA SALUD**

**CUADRO N°. 4**

PARAMETRO	UNIDAD		VALOR MAXIMO PERMISIBLE
Arsénico	mg/l.		0.01
Cadmio	mg/l.		0.05
Cianuro	mg/l.		0.05
Cromo	mg/l.		0.05
Mercurio	mg/l.		0.001
Niquel	mg/l.		0.05

**PARAMETROS PARA SUSTANCIAS ORGANICAS DE SIGNIFICADO  
SANITARIO PARA LA SALUD**

**CUADRO N°. 4**

PARAMETRO	VALOR MAXIMO PERMISIBLE (ug/L)*	
Cloruro de vinilo		5
1,1 dicloroetano		30
1,2 dicloroetano		30

\* (ug/L.) = microgramos por litro.

## **DEFINICION DE PRINCIPALES VARIABLES Y CONCEPTOS RELACIONADOS CON EL CONTROL DEL PROCESO**

### **TURBIEDAD:**

*Capacidad de un liquido de dispersar un haz de luz, formada por coloides hidrofóbicos de poca afinidad con el agua.*

***La turbiedad se debe a las siguientes causas:***

**1** - *Algas, crecimiento bacteriano.*

**2** - *Arcillas en dispersión, químicamente son silicatos de aluminio, hierro, álcalis y tierras alcalinas. Sus tamaños son de 0.002 mm de diámetro.*

***HOUSER*** las clasifica en *Kaolinitas, Bentonitas, Illitas, Muscovitas*. Físicamente están constituidas por cristales con estructura atómica reticular. Afectan características físicas del agua.

*Su determinación se realiza por medio de métodos Nefelométricos, se expresa en unidades Nefelométricas de Turbiedad ( U.N.T.)*

### **COLOR:**

*Constituido por sustancias químicas producto de la degradación de materias orgánicas, tales como hojas, plantas acuáticas, etc.*

*Se trata de un coloide hidrofílico que tiene interacción con la molécula de agua.*

*Sus principales componentes son : Acidos Fúlvicos 87%, Acidos Himetomelánicos 11%, Acidos Húmicos 2%, llamados en conjunto sustancias **Húmicas** Su determinación es por métodos colorimétricos comparativos y se expresa en Unidades de Color.*

### **ALCALINIDAD:**

*Capacidad del agua para neutralizar ácidos, su influencia en la coagulación-floculación es muy importante por la reacción entre esta y el coagulante.*

*Constituida por hidróxidos, bicarbonatos, carbonatos, cuya existencia es dependiente del valor de pH en el agua, también pueden contribuir boratos, silicatos, fosfatos, etc.*

*Se expresa en miligramos por litro como carbonato de calcio, su determinación se realiza con Acido Clorhídrico 0.0200 N. e indicador mixto verde de bromocresol - rojo de metilo. Formando una reacción llamada de neutralización.*

### **PH:**

*El PH es un término universal que se usa para definir las condiciones de acidez o basicidad que se encuentra en una solución, en este caso el agua.*

*Matamáticamente se puede definir como una expresión logarítmica que pretende demostrar en números enteros la concentración de iones Hidronio presentes en el agua..*

**Su fórmula:**

$$PH = - \text{Log } [H_3O]^+$$

### **DUREZA TOTAL:**

*Causada por cationes metálicos (calcio y magnesio) presentes en el agua, pueden reaccionar con el jabón y formar precipitados.*

*También se pueden presentar incrustaciones en tuberías de agua caliente, calderas, intercambiadores de calor, evaporadores, etc. Por precipitación del calcio y magnesio en presencia de calor.*

*Ejemplo::*



*Se determina en el laboratorio por medio del ácido Etilen-Diaminio-Tetra-Acético (EDTA) e indicador Eriocromo Negro T, se expresa en miligramos por litro como Carbonato de Calcio. La reacción entre calcio y magnesio con el EDTA se llama de formación de complejos.*

### **COAGULANTE:**

*Sustancia química mediante la cual se produce la coagulación en el agua, generalmente se usan sales de aluminio como el sulfato de aluminio, o sales de hierro.*

### **COAGULACION Y MEZCLA RAPIDA:**

*La coagulación corresponde a la desestabilización de las partículas suspendidas en el agua por remoción de las fuerzas que las mantienen separadas (potencial Zeta). Se inicia al aplicar el coagulante al agua, desencadenando reacciones fisico-químicas entre el coagulante en sí, la superficie de la partícula, la alcalinidad y el agua misma.*

*Para que este proceso de coagulación se lleve a cabo es necesario aplicar mezcla rápida, consiste en un mezclado fuerte, turbulento, en algunos casos producto de la liberación de energía por efecto del salto hidráulico, o bien por efectos inducidos basados en retromezcladores, esto se realiza con el fin de homogenizar el coagulante en toda la masa de agua.*

### **METODOS DE MEZCLA RAPIDA:**

*Normalmente en las plantas se usan dos sistemas de mezcla rápida:*

**a** - Mezcladores de flujo de pistón. (Planta de Tres Ríos).

**b** - Retromezcladores. (Planta de los Sitios, Moravia).

### **FLOCULADORES:**

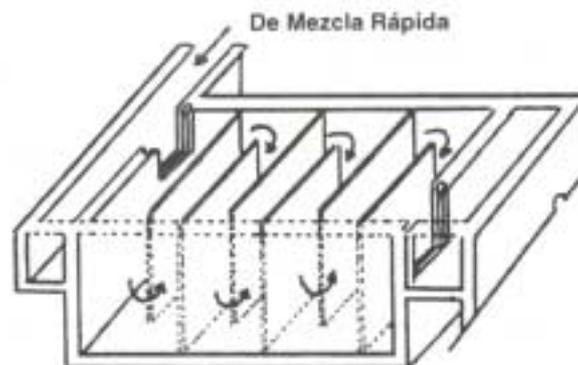
Se pueden clasificar en :

- a - Hidráulicos :** De flujo horizontal, vertical, helicoidal.
- b - Mecánicos :** Pueden ser reciprocantes o rotatorios.

Los Hidráulicos de flujo horizontal, consisten en láminas de asbesto onduladas, las cuales se colocan a los lados de las paredes del tanque construidos para este fin, de manera que el agua mantenga un movimiento ondulatorio en sentido horizontal que fomenta el crecimiento y formación de los flóculos.

Las pantallas tendrán espaciamientos específicos determinados por el Ingeniero diseñador para cada caso.

### **ESQUEMA DE UN FLOCULADOR HIDRAULICO DE FLUJO HORIZONTAL:**



### **SEDIMENTACION:**

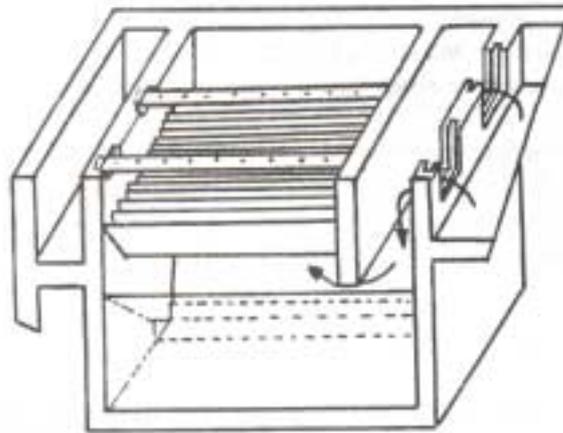
Complemento de los procesos anteriores, zona específica donde se precipitan las partículas aglomeradas en la zona de floculación. Dentro de la Planta de Tres Ríos los vamos a clasificar en:

- A - SEDIMENTADORES DE ALTA VELOCIDAD DE FLUJO VERTICAL.**
- B - SEDIMENTADORES CONVENCIONALES DE FLUJO HORIZONTAL.**

#### **SEDIMENTADORES DE ALTA VELOCIDAD DE FLUJO VERTICAL:**

Consisten esencialmente en una serie de láminas planas colocadas en un tanque apropiado con un ángulo de inclinación determinado entre 40 y 60 grados con respecto a la horizontal; de modo que el agua ascienda por las celdas con flujo laminar, permitiendo cargas entre 4 y 10 veces mayores que las usadas en sedimentadores horizontales. O sea entre 120 y 360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día.

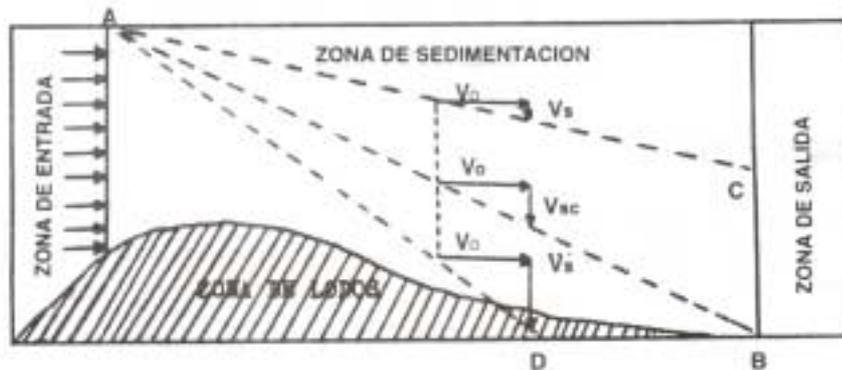
**ESQUEMA DE UN SEDIMENTADOR DE ALTA VELOCIDAD DE FLUJO VERTICAL:**



**SEDIMENTADORES DE FLUJO HORIZONTAL :**

Son tanques rectangulares o circulares, en los cuales la masa líquida se traslada de un punto a otro, donde el agua se traslada con una velocidad  $V$ , mientras las partículas sedimentan con velocidad  $V_s$ . Presenta cuatro zonas específicas: **a - Zona de entrada** **b - Zona de sedimentación** **c - Zona de salida** **d - Zona de lodos.**

**ESQUEMA:**



**SISTEMAS DE FILTRACION RAPIDA:**

El primer filtro mecánico o rápido, fue construido en Estados Unidos en la ciudad de Somerville en 1855 por I. Smith Hyatt, quien había obtenido patente para un sistema de "coagulación-filtración" a base de coagulantes ferricos, los cuales inyectaba antes de que el flujo entrara al filtro, para formar una capa de material coagulado en la superficie del mismo.

*Posteriormente este sistema pasó a Bélgica, Francia, Alemania, donde surgieron compañías que obtuvieron patentes para sus respectivos diseños.*

*El mayor inconveniente presentado era la falta de un sistema de sedimentación adecuado, lo que atascaba los filtros con demasiada frecuencia, cuando la turbiedad era muy alta. Por lo que más tarde en Louisville (1898) y Little Fall (Estados Unidos) se introdujeron sistemas de mezcla, coagulación y sedimentación en tanques separados.*

*Fue así como a partir de filtros como proceso único de tratamiento, se fueron creando las plantas potabilizadoras modernas, en las que todos los tratamientos son preparatorios o complementarios de la filtración.*

#### CLASIFICACION DE LOS FILTROS

SEGUN LA VELOCIDAD DE FILTRACION	POR EL MEDIO FILTRANTE	POR EL SENTIDO DE FLUJO	SEGUN LA CARGA SOBRE EL LECHO
<i>Rápidos</i> 120 - 130 <i>m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día</i>	<i>Arena</i>	<i>Ascendente y</i>	<i>Por Gravedad</i>
	<i>Antracita</i> <i>(h-60-75 cms)</i>	<i>Descendente</i>	<i>Por Presión</i> <i>y Gravedad</i>
	<b>Mixtos: Antracita y Arena</b> <i>(50-60 cms)</i> <i>(15-25 cms)</i>		
<i>Lentos</i> 7-14 <i>m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día</i>	<i>Arena</i> <i>(h=60-100 cms)</i>	<i>Descendente</i>	<i>Por Gravedad</i>

#### **MACANISMOS RESPONSABLES DE LA FILTRACION:**

- 1 - TRANSPORTE DE PARTICULAS DENTRO DE LOS POROS.
- 2 - ADHERENCIA A LOS GRANOS DEL MEDIO.

#### **MECANISMOS DE TRANSPORTE:**

**CERNIDO:** *Actúa solo en las capas más superficiales del lecho.*

**SEDIMENTACION:** *Actúa en zonas de carga hidráulica baja del lecho, solo se produce con material suspendido relativamente grande y denso.*

**INTERCEPCION:** *Se realiza por contacto de las partículas de floc con la superficie del grano o con floc ya depositado.*

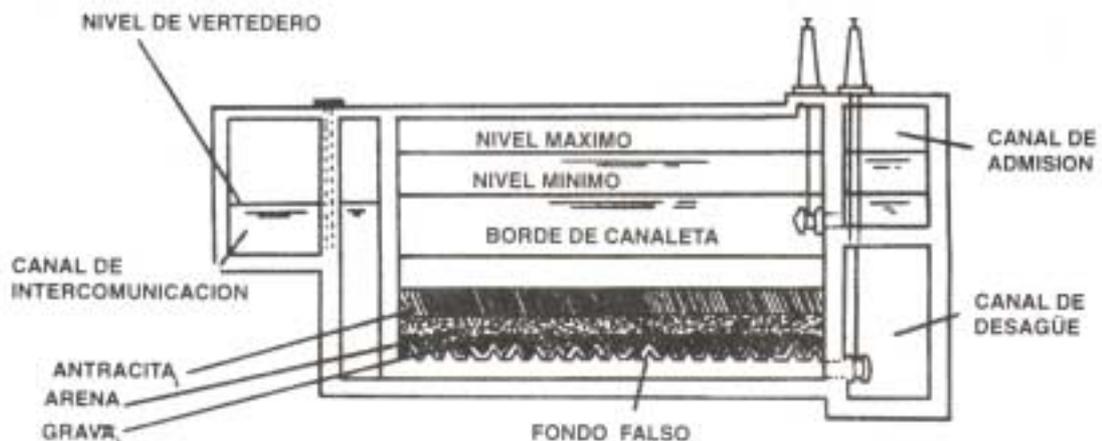
### **IMPACTO INERCIAL:**

*Las partículas al chocar con el grano del filtro, quedan adheridas a él.*

### **DIFUSION:**

*Se produce donde la velocidad de flujo es practicamente cero, la efeciencia en este caso es directamente proporcional a la temperatura e inversamente proporcional al diámetro de la partícula.*

### **ESQUEMA DE UN FILTRO RAPIDO DE MEDIO DUAL:**



### **CLORACION COMO MEDIO DE DESINFECCION**

*Proceso final muy importante en la potabilización, pues las aguas subterráneas al llegar a la superficie, o bien las aguas ya tratadas en la planta pueden contener microorganismos que harían objetar su calidad desde el punto de vista microbiológico.*

*Además, se tiene como finalidad proteger el agua en los tanques de almacenamiento y la red de distribución.*

*El método usado en el país es a base de cloro, que puede ser en forma de gas licuado en cilindros, o bien como cloro granulado (Hipoclorito de calcio) conocido comercialmente como **H.T.H.** En la actualidad se usan en algunas plantas de tratamiento máquinas productoras de Hipoclorito de sodio que produce este tipo de cloro en el sitio.*

**LOS OBJETIVOS DEL PROCESO DE CLORACION SON:**

- 1 - Destruir los microorganismos patógenos presentes en el agua.
- 2 - Utilizar concentraciones que no provoquen objeción en el usuario.
- 3 - Utilizar un proceso de costo razonable y de fácil manipulación.

**PARA QUE LA CLORACION SEA EFICIENTE, ES NECESARIO QUE:**

- 1 - La aplicación sea uniforme en toda la masa de agua.
- 2 - Ser aplicado en forma continua.
- 3 - Realizar curvas de demanda de cloro para cada calidad de agua.

**REACCIONES DEL CLORO EN EL AGUA.**



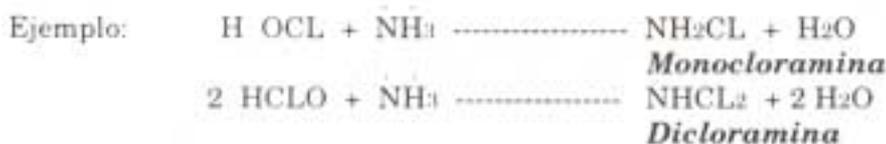
El ácido hipocloroso o bien el ión Hipoclorito, serán los responsables de la destrucción de los microorganismos, siendo la prevalencia de uno u otro, factor del pH; por lo que la mejor desinfección se realiza a pH entre 6 y 7.5 por prevalencia en estos rangos del ácido hipocloroso de mayor poder desinfectante que el ión Hipoclorito.

**DEMANDA DE CLORO:**

Es la diferencia entre el cloro agregado al agua y el cloro libre disponible después de un determinado tiempo de contacto.

**CLORO RESIDUAL LIBRE:**

Es el cloro que existe en el agua en forma de ácido hipocloroso o ión Hipoclorito, para lo cual el agua debe estar libre de compuestos orgánicos, nitrogenados o amoniacales, para no formar cloro residual combinado y la presencia de cloraminas en el agua de menor poder desinfectante.



**TABLA DE PODER DE DISINFECCION DE ALGUNOS AGENTES OXIDANTES**

AGENTE OXIDANTE		PODER DESINFECTANTE
Ión Hipoclorito	ClO	débil
Acido Hipocloroso	HClO	fuerte
Monocloramina	NH <sub>2</sub> Cl	muy debil
Dicloramina	NHCl <sub>2</sub>	débil
Dióxido de cloro	ClO <sub>2</sub>	fuerte

## ***SALUD Y DESARROLLO***



**AYA**

## Anexo B.4 Parámetros de calidad del agua establecidos para Costa Rica

### ANEXO 1 PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Cuadro 1: Parámetros bacteriológicos<sup>1</sup>

Origen	Parámetro	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
A. Todo tipo de Agua de bebida, así como la que se use para la preparación de hielo	Coliforme	Negativo	Negativo
	Fecal		
B. Agua que entra al sistema de distribución	Coliforme	Negativo	Negativo
	Fecal		
C. Agua en el sistema de distribución	Coliforme	Negativo	Negativo
	Fecal		

<sup>1</sup> NMP/100ml en caso de análisis por tubos múltiples o UFC (unidades formadoras de colonias)/100ml en el caso de análisis por el método de membranas filtrantes. El indicador bacteriológico más preciso de contaminación fecal es la Escherichia Coli, definida en el artículo 2. La bacteria Coliforme Total no es un indicador aceptable de la calidad sanitaria del agua.

Cuadro 2: Parámetros organolépticos.

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Color Verdadero	Mg/l (Pt-Co)	1	15
Turbiedad	UNT	1	5
Olor	Factor	0	2, a 12°C
	Dilución		3, a 25°C
Sabor	Factor	0	2, a 12°C
	Dilución		3, a 25°C

CUADRO 3. Parámetros físico químicos

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Temperatura	C	18 a 30	
Concentración de iones hidrógeno	Valor pH	6,5 a 8,5 <sup>a</sup>	
Cloro residual libre	mg/l	0,2 a 1,0 <sup>c</sup>	<sup>b</sup>
Cloruros	mg/l	25	250
Conductividad	µs/cm	400	
Dureza	mg/l CaCO <sub>3</sub>	400	
Sulfatos	mg/l	25	250
Aluminio	mg/l	0,2	
Calcio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	100	
Cobre	mg/l	1,0	2,0
Magnesio	mg/l CaCO <sub>3</sub>	30	50
Sodio	mg/l	25	200
Potasio	mg/l		10
Sólidos totales disueltos	mg/l		1000
Zinc	mg/l		3,0

<sup>a</sup> Las aguas deben ser estabilizadas de manera que no produzcan efectos corrosivos al licuarse en los acueductos.

<sup>b</sup> Para evitar problemas de sabores y olores en los consumidores, y por aspectos económicos: 1,0 mg/l como cloro residual libre, después de haber satisfecho la demanda de cloro.

<sup>c</sup> En situaciones de emergencia el Ministerio de Salud podrá recomendar mayores concentraciones de cloro residual libre.