

**DISEÑO DEL CENTRO DE CONTROL
PARA AGUAS DE MANIZALES**

VICTOR HUGO OSPINA LOPEZ

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE
ESPECIALISTA EN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

ASESOR. INGENIERO NICOLAS TORO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Manizales, febrero de 2003

RESUMEN

Este trabajo presenta el análisis de los sistemas de instrumentación y automatización que AGUAS DE MANIZALES S.A .E.S.P tenía a finales del año 2002, así como el estudio de alternativas, descripción de pruebas, selección final de equipos y resultados para resolver el rediseño del sistema de control de las plantas de tratamiento de agua potable, el diseño del sistema de comunicaciones entre las dos plantas de tratamiento y el diseño del centro de control para integrar todos los sistemas de instrumentación y automatización que la empresa tiene.

Palabras claves

Diseño de Centro de Control, Sistemas de Instrumentación y Control

ABSTRACT

This document shows the study of instrumentation and automation systems that AGUAS DE MANIZALES S.A .E.S.P had until the end of 2003. It also explain the options analysis, searching description, final equipment choice and results for control system design for the potable water treatment plants, communication system design between both plants and control room design that allows the integration of instrumentation and automation systems the utility has.

Keywords

Control Room Design, Instrumentation and control systems

CONTENIDO

[CONTENIDO.. i](#)

[LISTA DE FIGURAS. iii](#)

[LISTA DE TABLAS. iv](#)

[1 INTRODUCCIÓN.. 1](#)

[2 OBJETIVOS. 4](#)

[3 MARCO TEORICO.. 5](#)

[3.1 SISTEMAS DE INSTRUMENTACION.. 5](#)

[3.1.1 Controladores para sistemas de instrumentación.. 5](#)

[3.1.2 Medios de transmisión en sistemas de instrumentación.. 7](#)

[3.2 SISTEMAS DE COMUNICACION DE DATOS. 11](#)

[3.2.1 Transmisión por fibra óptica.. 11](#)

[3.2.2 Radiotransmisión.. 13](#)

[3.3 AUTOMATIZACIÓN EN SISTEMAS DE ACUEDUCTO.. 14](#)

[3.3.1 Definiciones básicas y conceptos. 14](#)

[3.3.2 Interfase operador-proceso.. 15](#)

[3.3.3 Consideraciones de diseño de la interfase operador-proceso.. 15](#)

[3.3.4 Equipo de la interfase operador-proceso.. 17](#)

[3.3.5 DISEÑO DE LA SALA DE CONTROL. 18](#)

[4 METODOLOGIA.. 20](#)

[4.1 REDISEÑO DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACION EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.. 20](#)

[4.1.1 Sistema de tratamiento de agua potable en Aguas de Manizales. 20](#)

[4.1.2 Descripción del sistema de instrumentación y control actual. 22](#)

[4.2 DISEÑO DEL ENLACE DE COMUNICACIONES ENTRE LAS PLANTAS NIZA Y LUIS PRIETO 35](#)

[4.2.1 Descripción de los sistemas actuales. 35](#)

[4.3 DISEÑO DEL CENTRO DE CONTROL.. 43](#)

[4.3.1 Dimensionamiento del Centro de Gestión y Supervisión.. 44](#)

[4.3.2 Análisis de requerimientos. 47](#)

[5 RESULTADOS. 49](#)

[5.1 SISTEMA PROPUESTO PARA LA INSTRUMENTACIÓN DE PLANTAS. 49](#)

[Planta Niza.. 51](#)

[Planta Luis Prieto.. 52](#)

[5.2 DISEÑO SUGERIDO PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIONES. 52](#)

[5.2.1 Análisis de resultados. 52](#)

[5.3 DISEÑO SUGERIDO PARA EL CENTRO DE GESTION Y SUPERVISION.. 56](#)

[6 CONCLUSIONES. 60](#)

[BIBLIOGRAFIA.. 61](#)

[ANEXOS. 62](#)

LISTA DE FIGURAS

[Figura 1. Sistema de telemetría vía radio_ 8](#)

[Figura 2. Ejemplo de Bus de Campo_ 9](#)

[Figura 3. Proceso de tratamiento de agua potable. 22](#)

[Figura 4. Esquema de trabajo actual del sistema de instrumentación en Plantas 25](#)

[Figura 5. Esquema para la prueba con las RTU PML 3800_ 32](#)

[Figura 6. Esquema para la prueba con los PLC Telemecanique 33](#)

[Figura 7. Ubicación de las dos plantas de tratamiento_ 35](#)

[Figura 8. Diagrama de la red de datos actual de Aguas de Manizales 37](#)

[Figura 9. Perfil de terreno entre las plantas Niza y Luis Prieto_ 39](#)

[Figura 10. Datos levantados con GPS en visita de campo_ 40](#)

[Figura 11. Levantamiento de torres de infraestructura eléctrica entre las dos plantas 41](#)

[Figura 12. Arquitectura sugerida para la Planta Niza_ 53](#)

[Figura 13. Arquitectura sugerida para la Planta Luis Prieto_ 54](#)

[Figura 14. Ubicación de las dos plantas y el cerro Sancancio_ 55](#)

[Figura 15. Esquema planteado para el centro de Gestión y Supervisión_ 57](#)

LISTA DE TABLAS

[Tabla 1. Características de las plantas de tratamiento_ 21](#)

[Tabla 2. Características de los equipos necesarios para el nuevo esquema de control distribuido 28](#)

[Tabla 3. Cuadro comparativo de equipos para el sistema de instrumentación en plantas. 28](#)

[Tabla 4. Cuadro comparativo de medios de comunicación para el sistema de instrumentación en plantas 29](#)

[Tabla 5. Datos de ubicación geográfica de los puntos levantados en visita de campo_ 39](#)

[Tabla 6. Comparación de equipos para la instrumentación de las plantas 50](#)

[Tabla 7. Equipos sugeridos para el sistema de control distribuido_ 52](#)

1 INTRODUCCION

Las empresas de servicios públicos de acueducto son, en su mayoría, entidades públicas que benefician al usuario suministrando un producto serio y seguro. Ellas deben también cumplir con todas las regulaciones que gobiernan sus operaciones y utilizar sus recursos eficientemente. Como guardianes de una responsabilidad pública, el impulso entre estas empresas para emprender los proyectos de computación y automatización puede ser visto como parte de su respuesta a algunas fuerzas mayores, tanto internas como externas, que los obliga a buscar soluciones y métodos nuevos. Esas fuerzas varían desde consumismo hasta necesidades de empleo. Una revisión del impacto de estas fuerzas en las operaciones de la empresa, es importante para entender por que los administradores de éstas frecuentemente ven la computación y automatización de operaciones como la mejor respuesta. El valor de integrar los sistemas de control e información de la empresa se puede entender también con este análisis.

Dentro de estas fuerzas se pueden mencionar : conciencia del consumidor y asuntos de salud, protección ambiental, regulaciones de calidad del agua, disponibilidad limitada de recursos naturales, economía, avances tecnológicos, cantidades crecientes de información y profesionalismo.

Estas fuerzas constituyen tendencias generales sociales o institucionales y circunstancias industriales específicas, y se manifiestan en las empresas de acueducto como un conjunto amplio de necesidades y aplicaciones centradas alrededor de la importancia de información adicional requerida para mejorar las prácticas de administración y operación. Las áreas generales de estas necesidades son : calidad del agua, integridad del sistema de acueducto, respuesta a regulaciones, reducción de costos, distribución de agua, servicio al cliente, planeación estratégica y coordinación con otras empresas.

Aceptar la información como un recurso clave para ser administrado - más que el agua, las personas, el tiempo y el dinero - es tal vez el mayor desafío para las empresas de acueducto actualmente y en el futuro cercano. Para utilizar adecuadamente sus recursos, los administradores de las empresas de acueducto deben emprender una estrategia de desarrollo integrado de sus sistemas de información.

A medida que las necesidades o aplicaciones de las empresas de acueducto se vuelven mas críticas, las circunstancias económicas y políticas, así como la iniciativa y liderazgo de ciertas partes de la organización, pueden facilitar la justificación y desarrollo de un sistema computarizado nuevo. Eventualmente, un número de sistemas o aplicaciones puede ser desarrollado en diferentes áreas de la empresa, generalmente en diferentes momentos; los cuales pueden reemplazar sistemas manuales antiguos. Tales sistemas usualmente incorporan software especializado y configuraciones ajustadas a las necesidades individuales de departamentos y las predilecciones de administradores individuales.

Con el tiempo, este proceso puede crear “islas de automatización”, lo cual puede resultar en duplicación de esfuerzos y gran dificultad al momento de comunicar varios sistemas y compartir información. Esto también

puede conllevar a batallas políticas por el control sobre la información dentro de la misma organización.

Los sistemas computarizados representan compromisos significativos de los recursos de la empresa. Mientras los costos de los equipos de computo y el software han disminuido, los costos “suaves”, incluyendo diseño del sistema, ingeniería y entrenamiento permanecen altos y se pueden incrementar a medida que las aplicaciones se tornan más complejas. Una vez el sistema se ha iniciado, este necesita ser modificado, mantenido y actualizado regularmente.

Los sistemas mal diseñados son costosos, puesto que ellos son ineficientes y no cumplen todas las necesidades actuales o anticipadas de sus usuarios. Dadas las nuevas demandas de información, los grandes compromisos de recursos requeridos, y las restricciones financieras típicas, el reto de los administradores es hacer más con menos. La clave para cumplir esto – evitando las islas de automatización – son una adecuada planeación, de tal forma que tanto las necesidades actuales como futuras se puedan acomodar; y la integración por medio de sistemas computarizados, de tal manera que los diferentes sistemas se puedan comunicar entre si y que sus funciones se puedan combinar. Muchas de las necesidades de estas empresas pueden ser resueltas adecuadamente solo con aproximaciones que involucren la integración de diferentes áreas de automatización dentro de la empresa.

Si el avance de la tecnología y los cambios asociados a ella son bien orientados dentro de una empresa, sus administradores podrán satisfacer eficientemente casi todas sus necesidades de información.

AGUAS DE MANIZALES siendo consistente con el desarrollo tecnológico que presenta y con las necesidades crecientes de información, especialmente en el área técnica operativa, y en aras de involucrar varios sistemas que actualmente funcionan como “islas de automatización”, debe emprender algún mecanismo que le permita integrar todos estos sistemas para sacar el mejor provecho de sus recursos.

Dado esto, en el presente trabajo se desarrolla una metodología que permite evaluar los sistemas que actualmente posee la empresa, sus necesidades y requerimientos para concluir con el diseño de un centro de control que le permita integrar dichos sistemas y que facilite la toma de decisiones tanto técnicas como administrativas con base en la información allí generada.

El diseño se basa fundamentalmente en tres aspectos principales, a saber: rediseño del sistema de instrumentación de las plantas de tratamiento, diseño del sistema de comunicaciones entre las dos plantas y diseño del centro de control.

Como resultado se entregan unas sugerencias claras en cada uno de estos aspectos, llegando a especificar topologías, configuraciones, tipos y marcas de equipos gracias a las pruebas que se hicieron y al análisis de los resultados obtenidos.

2 OBJETIVOS

Se define entonces como objetivo general del trabajo, diseñar el centro de control para integrar los sistemas de automatización que Aguas de Manizales posee actualmente.

Y simultáneamente se proponen los siguientes objetivos específicos:

Rediseñar la arquitectura de control del sistema de automatización de las plantas de tratamiento (Macromedición).

Diseñar el enlace de comunicaciones entre las Plantas Niza y Luis Prieto para integrar esta última al centro de control.

Y se determina el alcance del trabajo como : plantear una mejor arquitectura para el sistema de Macromedición en plantas de tratamiento: configuración de equipos, protocolos a utilizar, equipos sugeridos (marca), características especiales de cableado; definir el tipo de enlace de comunicaciones entre las plantas de tratamiento, medio de transmisión, equipos sugeridos (marca), ubicación de equipos y antenas; determinar las especificaciones del software y equipos necesarios para el montaje del centro de control.

3 MARCO TEORICO

En este capítulo se presenta un consolidado de la revisión bibliográfica que se hizo con el fin de dar una base conceptual al trabajo, la cual sirva de apoyo para el estudio y para las decisiones que se tomen a lo largo del trabajo.

3.1 SISTEMAS DE INSTRUMENTACION

3.1.1 Controladores para sistemas de instrumentación

RTU's

Es un dispositivo común en los sistemas de Acueducto, que puede funcionar como un controlador. Una RTU es básicamente un equipo de interfase que conecta la instrumentación y los actuadores en el campo a un lugar remoto como un centro de control. Las RTU's sin embargo, han evolucionado en dispositivos multipropósito capaces de hacer control secuencial y continuo.

La RTU acepta señales eléctricas como contactos de rele o entradas de sensores desde la instrumentación de campo, codifica estas señales y transmite los mensajes codificados a un sitio remoto. La RTU también acepta comandos desde lugares remotos y proporciona la salida eléctrica apropiada (cerrar un rele, entre otras) para bombas, válvulas y equipos similares.

Las funciones típicas de una RTU en un sistema de acueducto son las siguientes:

- Monitorear continuamente el estado de válvulas, bombas y otros dispositivos
- Monitorear continuamente las entradas análogas
- Acumular pulsos de medidores con salida por pulsos
- Monitorear continuamente el circuito de comunicaciones y
- Responder a la solicitud de datos del maestro
- Ejecutar los comandos recibidos del maestro
- Cuando responda a los datos solicitados verificar la validez de la respuesta
- Reconocer cualquier cambio de estados
- Digitalizar los valores análogos
- Codificar los mensajes al maestro
- Transmitir el mensaje al maestro
- Cuando responda a comandos verificar la validez del comando
- Reportar al maestro la acción de comando a ejecutar
- Ejecutar el comando cuando sea recibida la verificación del maestro
- Reportar la ejecución del comando al maestro

Adicionalmente, las RTU's deben contener lógica para funciones avanzadas como:

- Control Secuencial. Para secuencias de encendido y apagado
- Control Continuo. Para control por referencias
- Bandas Muertas. Para minimizar la transmisión de cambios insignificantes en las mediciones análogas.
- Reportes por Excepción. Para minimizar la transmisión de datos de los estados (on, off o acumulador) cuando no han cambiado
- Almacenamiento de Datos. Almacenar los datos mientras es conveniente o posible transmitirlos al maestro

Las RTU's son elementos claves en los sistemas SCADA. Es posible utilizar un PLC en conjunto con una RTU o inclusive en reemplazo de ella, pero usualmente el costo lo hace poco atractivo.

Es común programar juntos el control secuencial y el continuo en la RTU en lugar de separarlos puesto que es típicamente menos costoso y ofrece gran flexibilidad para cambios y operaciones. Nuevas estrategias de control, por ejemplo, pueden ser transferidas desde el maestro con poco esfuerzo. Para control continuo, la referencia se comunica a la RTU, y ésta controla la bomba o válvula para mantener la referencia deseada, y luego sigue con el control hasta que recibe una nueva referencia.

En el evento de pérdida de la comunicación, la RTU puede ser programada para continuar operando con la última referencia, cambiar a una referencia de "seguridad", operar con base en un criterio distinto como el nivel de un tanque, parar de bombear después de un tiempo determinado o ejecutar otras acciones similares.

PLC's

La tecnología de los PLC's surgió a finales de los 60's y continua llamando mucho la atención en el sector industrial. Los PLC's fueron usados inicialmente como reemplazo de sistemas de reles donde era necesario gran cantidad de control secuencial. Ellos evolucionaron rápidamente en unidades de control completas capaces de ejercer control PID y control secuencial. Finalmente, los PLC's fueron equipados con capacidades de comunicación, lo cual les permite estar interconectados para ejecutar funciones de control complejas.

Los PLCs se caracterizan por su gran capacidad de procesamiento de información y por su flexibilidad en la configuración de las interfases de entrada / salida y de los puertos de comunicación, gracias a las ranuras universales de conexión que sirven para instalar distintas tarjetas de E/S y de comunicaciones, lo cual permite personalizar la configuración del PLC según las necesidades y aprovechar al máximo sus capacidades.

3.1.2 Medios de transmisión en sistemas de instrumentación

Telemetría

El concepto de telemetría consiste en la medición de variables físicas de un proceso y la transmisión de la información a un sitio remoto, independientemente del medio de transmisión que se utilice. Por ejemplo, el sistema para medir nivel y caudal en un tanque de almacenamiento de agua en la ciudad y luego transmitir la información a un SCADA en las oficinas de la compañía.

Los sistemas de telemetría se pueden establecer utilizando distintos medios de transmisión, según las condiciones del terreno, la infraestructura de redes de telefonía, las posibilidades del usuario o los requerimientos propios de los equipos utilizados. Sin embargo, el medio de transmisión más frecuentemente empleado es la radiofrecuencia, ya que permite envío de información en tiempo real a unos costos relativamente bajos y con muy buena integridad de la información. Adicionalmente se reduce el índice de indisponibilidad del sistema dado que el medio de transmisión no es susceptible de cortes, robos o daños por vandalismo; esto ayuda a reducir costos en la organización.

Partiendo de la base de que seguiremos refiriéndonos al sistema de telemetría como un sistema que transmite la información vía radio, cabe decir que la topología de un sistema de este tipo es punto – multipunto, y que debe existir algún mecanismo por medio del cual el nodo central interroga a los demás para recolectar su información, sin que esto impida que los otros nodos puedan generar autónomamente una transmisión dadas algunas condiciones especiales de alarma.

Usualmente, el nodo central es el sistema SCADA, el cual por medio de herramientas de software se encarga de hacer un sondeo por toda la red. Adicionalmente, las condiciones propias de la topología punto – multipunto impiden que haya un enlace directo entre dos nodos distintos al central. En la Figura 1 se muestra un esquema de la topología para un sistema de telemetría vía radio, en el cual se incluye un nodo de repetición que es utilizado cuando se desea cubrir grandes áreas y mejorar los radio-enlaces para garantizar mejor calidad en la información.

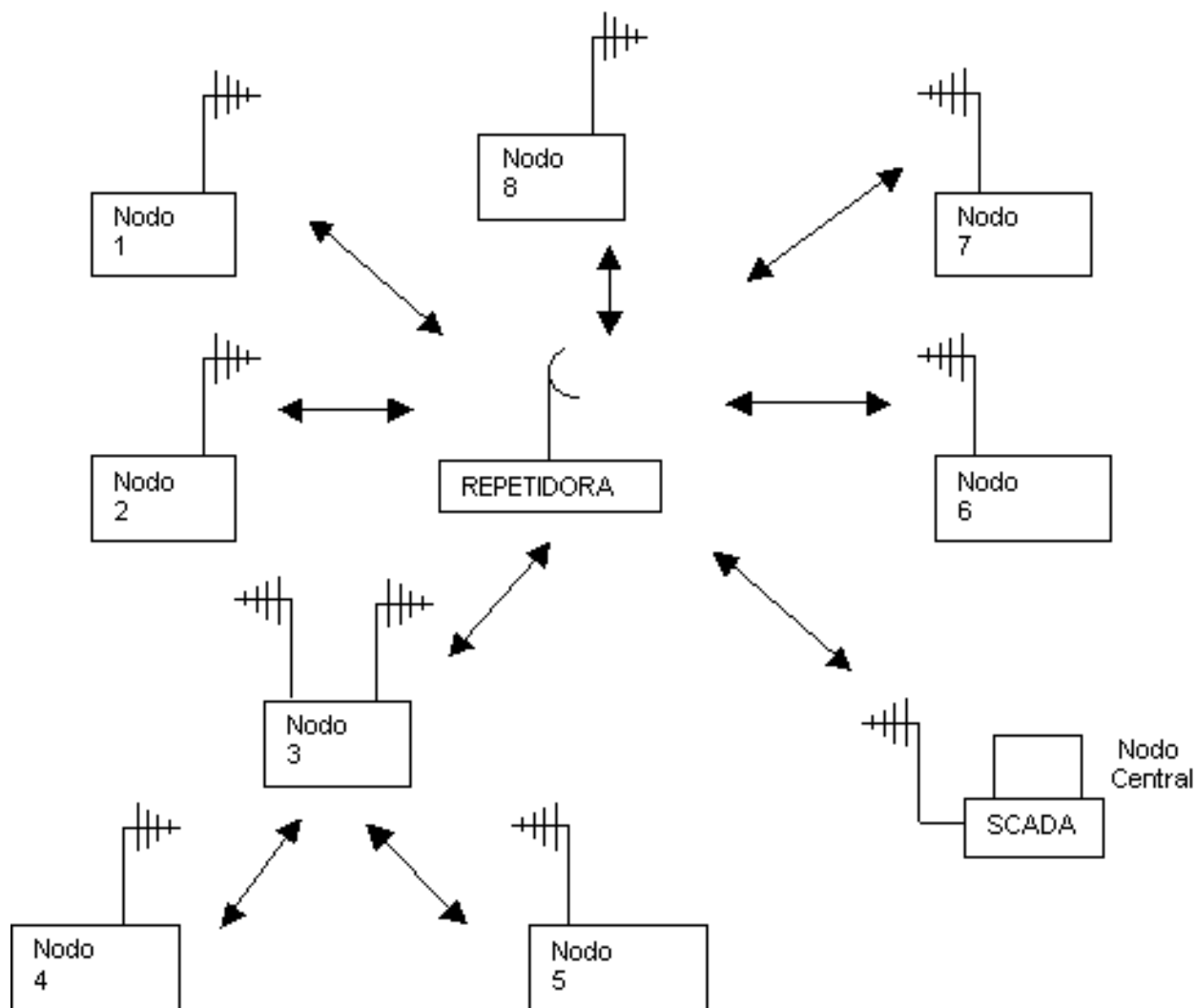


Figura 1. Sistema de telemetría vía radio

Bus de Campo

Físicamente podemos considerar a un bus como un conjunto de conductores conectando conjuntamente más circuitos para permitir el intercambio de datos (buses en un microprocesador). Contrario a una conexión punto a punto, donde solo dos dispositivos intercambian información, un bus consta normalmente de un número de usuarios superior, además que generalmente un bus transmite datos en modo serial, a excepción de algún protocolo de bus particular como SCSI, o IEEE-488 utilizado para interconexión de instrumentos de medición, que no es el caso de los buses tratados como buses de campo.

Para una transmisión serial es suficiente un número de cables muy limitado, generalmente son suficientes dos o tres conductores y la debida protección contra las perturbaciones externas para permitir el tendido de distancias en ambientes de ruido industrial. El acceso a este medio de transmisión común de datos exige reglas de convivencia muy severas, el conjunto de estas reglas se denomina protocolo.

La demanda creciente de las comunicaciones ha llevado a la especificación y existencias de numerosos

protocolos de bus de campo, acorde con las áreas de aplicación en los que fueron desarrollados por diferentes razones. Estos protocolos pueden diferir sustancialmente entre ellos pero en más o menos se basan en estándares internacionales.

Estos estándares denominados factory bus están siendo utilizados en los sistemas de información de nivel gerencial (higher-end) y a nivel de redes de campo se denominan field bus (lower-end) utilizado principalmente para comunicación de sensores y actuadores de proceso / máquina. Este último concepto ayudado por la disminución de costos en la fabricación de sensores y actuadores cada vez más inteligentes.

En la Figura 2 se puede ver un ejemplo de este tipo de bus conectando módulos genéricos de E/S. Uno de los fundamentos básicos de la aplicación de un bus de campo para comunicaciones en aplicaciones de control industrial es la reducción de la complejidad en el manejo de cableados, simplicidad en la incorporación o extracción de módulos, reducción en el mantenimiento causado por la importante reducción en conectores e hilos de conexión, además de permitir la diagnosis del sistema interconectado desde una única posición operativa.

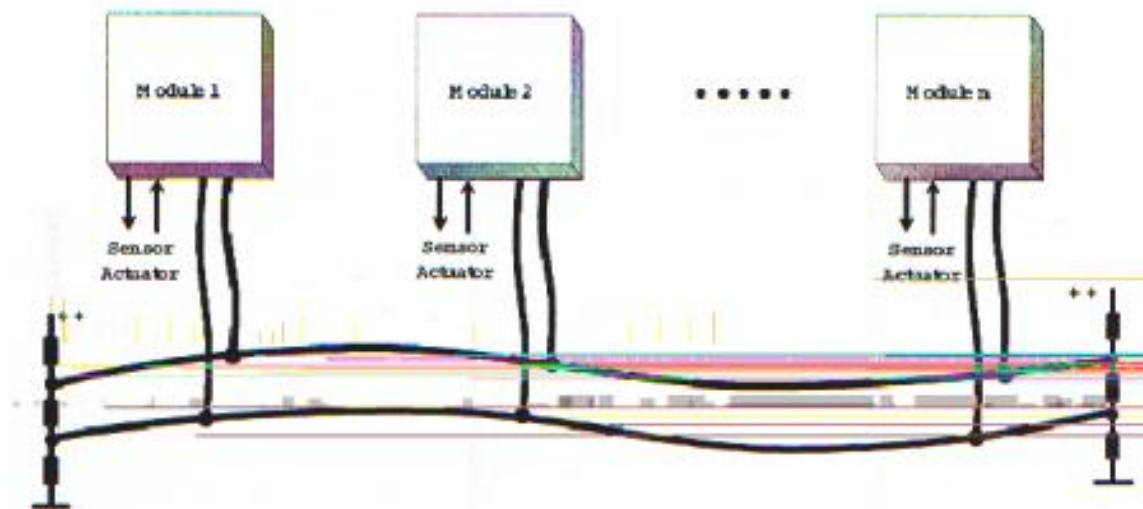


Figura 2. Ejemplo de Bus de Campo

FieldBus no es un simple reemplazo de señales de 4/20 [mA] a señales digitales para interconectar dispositivos de campo con los equipos de mando. Podemos decir que lo caracterizan cuatro aspectos fundamentales :

- Reemplazo completo de 4/20 [mA] a señales digitales
- Funciones de control, manejo de alarmas, tendencias además de otras funciones distribuidas en los dispositivos de campo.
- Interoperabilidad e intercambiabilidad.
- Sistema abierto, las especificaciones están disponibles sin necesidad de acuerdo de licencias.

Porque utilizar un bus de campo

Probablemente sea razonable discutir el origen de la tendencia a reemplazar los sistemas tradicionales por sistemas de bus para comprender la verdadera potencialidad, como primera apreciación es el método más natural que pueda afrontar un sistema de comunicación. (comprendido como transmisión de datos).

El primer paso en el campo de las comunicaciones de datos fue distribuir el acceso; las redes con topología en estrella permitían esta operación, donde un gran número de usuarios se conectaban a la CPU por medio de una conexión punto a punto. La evolución de las topologías de red permitió el desarrollo de nuevos protocolos reduciendo los tiempos necesarios de la comunicación misma mejorando de esta manera la integridad de los datos transmitidos. El paso fue a una estructura de árbol, donde los usuarios están conectados a un cable único, la información a transmitir es multiplexada en el tiempo. Posteriormente la aparición del sistema de bus y su implementación hasta el nivel de actuadores y sensores.

Ventajas y desventajas de un bus de campo

Existen argumentos a favor del uso e implementación de un bus de campo, los dos más importantes que podemos citar, son :

- La comunicación vía bus permite un intercambio de datos que sería más difícil y porque no imposible de transmitir en otro modo.
- El intercambio se lleva a cabo por medio de un mecanismo estándar.

Estas dos razones verdaderas y legítimas desencadenan todas las ofertas de productores de esta tecnología, a detallar :

- Flexibilidad de extensión.
- Conexión de módulos diferentes en una misma línea.
- Posibilidad de conexión de dispositivos de diferentes procedencias.
- Distancias operativas superiores al cableado tradicional.
- Reducción masiva de cables y costo asociado.
- Simplificación de la puesta en servicio.

Existen obviamente algunas desventajas a tener en cuenta en la implementación de sistemas con bus de campo, a detallar :

- Necesidad de conocimientos superiores.
- Inversión de instrumentación y accesorios de diagnóstico.
- Costos globales inicialmente superiores.

Conexión en el bus

La mayoría de los buses trabajan en el nivel 1 con interfase RS 485. El bus es el medio que permite conectar diferentes equipos de modo tal que se puede transmitir varias señales en la misma línea, todos los dispositivos pueden intercambiar datos entre sí, y en cualquier momento se puede realizar una ampliación.

Desde el punto de vista puramente económico puede ocurrir que el sistema de bus sea más costoso, pero por otra parte permite llevar a cabo una instalación más simplificada y rápida, igual que la puesta en funcionamiento.

3.2 SISTEMAS DE COMUNICACION DE DATOS

3.2.1 Transmisión por fibra óptica

Durante los últimos 10 años, la industria de las comunicaciones electrónicas ha experimentado muchos cambios, notables y dramáticos. Un incremento fenomenal en las comunicaciones de voz, datos y video, ha causado un incremento correspondiente en la demanda de sistemas de comunicación, más económicos y con mayor capacidad. Esto ha causado una revolución técnica en la industria de las comunicaciones electrónicas. Los sistemas de microondas terrestres han alcanzado, desde hace tiempo, su capacidad y los sistemas de satélite pueden proporcionar, a lo mucho, sólo un alivio temporal a la demanda siempre en aumento. Es obvio que sean necesarios los sistemas de comunicación económicos que puedan soportar grandes capacidades y proporcionar un servicio de alta calidad.

La capacidad para llevar información de un sistema de comunicación es directamente proporcional a su ancho de banda; entre más ancha sea la banda, mayor es su capacidad para llevar información. Para fines comparativos, es común expresar el ancho de banda de un sistema como un porcentaje de la frecuencia de su portadora. Por ejemplo, un sistema de radio VHF funcionando a 100 MHz, podría tener un ancho de banda igual a 10 MHz (es decir, 10% de la frecuencia de la portadora). Un sistema de radio de microondas funcionando a 6 GHz con un ancho de banda igual al 10% de la frecuencia de su portadora, tendría un ancho de banda igual a 600 MHz. Por lo tanto entre más alta sea la frecuencia de su portadora, es más grande el ancho posible de la banda y, en consecuencia, mayor la capacidad de información. Las frecuencias de luz

usadas en los sistemas de fibra óptica están entre 10^{14} y 4×10^{14} Hz (100,000 a 400,000 GHz). Diez por ciento de 100,000 GHz es 10,000 GHz. Para llenar actualmente las necesidades de comunicaciones o las necesidades del futuro previsible, 10,000 GHz es un ancho de banda excesivo. Sin embargo, sí ilustra las capacidades de los sistemas de fibra óptica.

Las transmisiones por fibra óptica tienen varias ventajas que hacen de ésta, una alternativa muy atractiva pero con ciertas restricciones que limitan las aplicaciones en las cuales resulta viable su utilización. A continuación se mencionan algunas de estas ventajas y desventajas.

Ventajas de los sistemas de fibra óptica.

- Los sistemas de fibra tienen una mayor capacidad debido a los anchos de banda inherentemente más grandes y disponibles con las frecuencias ópticas.
- Los sistemas de fibra son inmunes a transmisiones cruzadas entre cables, causadas por la inducción magnética; dado que no son conductores eléctricos.
- Los cables de fibra son inmunes a la interferencia estática causada por relámpagos, motores eléctricos, luces fluorescentes y otras fuentes de ruido eléctrico. Además los cables de fibra no radian energía de RF y, por lo tanto, no pueden causar interferencia con otros sistemas de comunicación.
- Los cables de fibra son más resistentes a los extremos ambientales.
- Los cables de fibra son más seguros y fáciles de mantener. Se pueden usar en ambientes explosivos sin mayores restricciones.

Desventajas de los sistemas de fibra óptica

- Los sistemas de fibra son todavía muy costosos.
- El mantenimiento y reparación de los sistemas de fibra es difícil y costoso.
- Se requiere de una buena infraestructura para su instalación, bien sea aérea o subterránea.
- La mano de obra para estos sistemas es muy especializada y difícil de conseguir en ciudades pequeñas.

3.2.2 Radiotransmisión

Las ondas de radio son fáciles de generar, pueden viajar distancias largas y penetrar edificios sin problemas, de modo que se utilizan mucho en la comunicación, tanto en interiores como en exteriores. Las ondas de radio también son omnidireccionales, lo que significa que viajan en todas direcciones desde la fuente, por lo que el transmisor y el receptor no tienen que alinearse con cuidado físicamente.

Las propiedades de las ondas de radio dependen de la frecuencia. A bajas frecuencias, las ondas de radio cruzan bien los obstáculos, pero la potencia se reduce drásticamente con la distancia a la fuente, aproximadamente en proporción $1/r^3$ en el aire. A frecuencias altas, las ondas de radio tienden a viajar en línea recta y a rebotar en los obstáculos. También son absorbidas por la lluvia. En todas las frecuencias, las ondas de radio están sujetas a interferencia por los motores y otros equipos eléctricos.

Transmisión por microondas

Por encima de los 100 MHz las ondas viajan en línea recta y, por lo tanto, se pueden enfocar en un haz estrecho. Concentrar toda la energía en un haz pequeño con una antena parabólica produce una señal mucho más alta en relación con el ruido, pero las antenas transmisora y receptora deben estar muy bien alineadas entre sí. Además, esta direccionalidad permite a transmisores múltiples alineados en una fila comunicarse con receptores múltiples en fila, sin interferencia. Antes de la fibra óptica, estas microondas formaron durante décadas el corazón del sistema de transmisión telefónica de larga distancia.

En síntesis, la comunicación por microondas se utiliza tanto para la comunicación telefónica de larga distancia, los teléfonos celulares, redes de datos de corto alcance, la distribución de televisión y otros usos. Esta tecnología tiene varias ventajas significativas respecto a la fibra. La principal es que no se necesita derecho de paso; basta comprar un terreno pequeño cada 50 Km y construir en él una torre de microondas para saltarse el sistema telefónico y comunicarse en forma directa.

Las microondas también son relativamente baratas. Erigir dos torres sencillas y poner antenas en cada una puede costar menos que enterrar 50 Km. de fibra a través de un área urbana congestionada o sobre una montaña, y también puede ser más económico que rentar la fibra de la compañía de teléfonos.

La banda de 900 MHz es la que funciona mejor pero está muy poblada y el equipo para usarla sólo se puede operar en América del Norte. Las bandas más altas requieren circuitos electrónicos más costosos y están sujetas a la interferencia de los hornos microondas y de las instalaciones de radar. No obstante, estas bandas son populares en varias aplicaciones de redes inalámbricas de corto alcance.

3.3 AUTOMATIZACIÓN EN SISTEMAS DE ACUEDUCTO

3.3.1 Definiciones básicas y conceptos

Una empresa de servicios públicos de acueducto moderna que opera un sistema de tratamiento y distribución

de cualquier tamaño significativo, es un sistema altamente técnico. La tecnología e instalaciones para monitorearlo y controlarlo son complejas y diversos, y dar nombres a las diferentes tecnologías puede ser difícil. Sin embargo, es importante establecer algunas definiciones y conceptos básicos.

La instrumentación en una empresa de este sector ha sido definida para representar tanto la tecnología como la instalación de equipos para monitorear y controlar las operaciones y llevar a cabo procesamiento de información asociada con observaciones o ajustes de las operaciones.

La definición de automatización varía mucho, dependiendo de los usuarios y campos de uso. La automatización supone el reemplazo o eliminación de componentes intermedios de un sistema o pasos en un proceso, especialmente aquellos que involucran intervención humana o toma de decisiones, por otros más avanzados tecnológicamente. Esto implica cambios fundamentales en los procesos de producción, tomando ventaja de los avances tecnológicos.

Los computadores son usados en las operaciones de las empresas de servicios públicos de acueducto, para “control” y “administración”. El control se entiende con los procesos, pero un computador solo no puede ejecutar el control. El computador es una máquina que recibe señales, las procesa en un sentido u otro, y genera los resultados del procesamiento como señales. La instrumentación, entonces, es usualmente empleada como un término general para el sistema de control en general.

Típicamente, un sistema de información no es un sistema en tiempo real. En sistemas de tiempo real, tales como los SCADA, los datos entran al sistema como ellos ocurren, y la respuesta del sistema (por ejemplo el análisis) está disponible lo suficientemente rápido para permitir que el proceso sea controlado, modificado, etc. Un sistema de información generalmente implica representación de datos previa ocurrencia. Algunos sistemas de información que usan o siguen datos de operaciones (por ejemplo calidad del agua o datos de bombeo) están evolucionando a sistemas de tiempo real a medida que la velocidad de procesamiento y la potencia de los computadores se incrementa.

La integración es el alineamiento de dos o más sistemas o aplicaciones de tal forma que los datos útiles para un sistema que residen en otro puedan ser obtenidos fácilmente y usados por el anterior. En algunos casos, los datos, funciones, aplicaciones, o los sistemas en sí pueden ser combinados en centros de control.

3.3.2 Interfase operador-proceso

El trabajo del operador del centro de control es observar el proceso de tratamiento de agua o el proceso de distribución, detectar desviaciones a partir de lo normal, evaluar las desviaciones, decidir la acción apropiada y ejecutar esa decisión.

El operador puede observar el proceso directamente, o la observación puede hacerse a través de tableros de mímicos e instrumentos del panel de control, o a través de pantallas de video como parte de un sistema de control digital. La interfase entre el proceso y el operador puede ayudar o impedir a los operadores a ejecutar su trabajo dependiendo de su diseño.

Un diseño de interfase operador-proceso que abarque ingeniería humana es indispensable para obtener sistemas de control efectivos. Los operadores deben entender grandes cantidades de información del proceso rápidamente y actuar apropiadamente. La interfase operador-proceso debe presentar la información en una forma sensible y fácil de entender. Esta debe :

- Facilitar al operador la transición desde el campo a la sala de control y desde un área de control a otra.
- Contribuir a una productividad mas elevada
- Reducir la entrada de errores del operador
- Reducir la carga física en el operador
- Responder confiable y rápidamente

3.3.3 Consideraciones de diseño de la interfase operador-proceso

La filosofía operacional

Cada administrador de planta de tratamiento tiene su única filosofía operacional. Las responsabilidades del operador pueden variar desde una simple observación hasta operaciones altamente autónomas. Pueden existir controles de respaldo automático completo o controles de respaldo manual para los dispositivos. El control puede ser centralizado o descentralizado.

En una organización, los operadores de la sala de control arrancan y paran unas pocas bombas. Cuando una alarma ocurre, el operador llama al supervisor quien envía equipos de reparación. En una organización diferente, los operadores son responsables de la operación de la planta de tratamiento de agua y de la operación del sistema de distribución. Los operadores predicen las demandas del sistema y configuran las ratas de bombeo para asegurar que los tanques estén a niveles apropiados. Ellos cambian la operación de la planta de tratamiento de agua para ajustarse a la demanda. En algunas plantas, los operadores o supervisores trabajan sólo desde salas de control. En otras, los operadores hacen rondas. Ellos observan el proceso y pueden tomar acciones de control en una estación de control de área o regresar a la sala de control central para hacer cambios en el proceso. En sistemas de telemetría de distribución de agua, los operadores usualmente controlan sólo desde salas de control.

Las funciones del sistema de control deben ajustarse a la filosofía operacional. La filosofía incluye el lugar de

trabajo de los operadores, la ubicación de las consolas de control, paneles y controles de campo; y la responsabilidad y autoridad de los operadores y supervisores. En algunos casos puede ser suficiente el simple anuncio de alarmas, mientras en otros casos puede ser apropiada la tecnología de sistemas expertos. La interfase operador-proceso debe ajustarse al sistema de control.

Funciones de la interfase operador-proceso

La interfase operador-proceso debe funcionar como sigue a continuación. Las primeras cuatro funciones son aplicables a cualquier sistema de control, y las restantes aplican a sistemas de control digital.

- Anunciar alarmas y cambios operacionales por excepción
- Permitir silenciamiento de la sirena de alarmas y reconocimiento de éstas
- Permitir entrada de comandos de control y cambios de puntos de ajuste
- Mostrar el estado de los equipos de proceso
- Permitir modos de operación protegida por medio de llaves de seguro o contraseñas. Para sistemas de computador, los modos deben incluir visualización solamente, operación y configuración.
- Permitir seleccionar pantallas de gráficos desde cierta parte de la pantalla actual, desde teclas de función o desde reportes de excepción
- Permitir seleccionar entrada / salida de datos puntuales y datos calculados internamente.
- Solicitar confirmación de comandos de control y puntos de ajuste
- Permitir seleccionar pantallas de resumen para fallas de entradas análogas, alarmas análogas, alarmas discretas, eventos y acciones del operador.
- Mostrar puntos de tendencia y permitir adicionar y eliminar puntos de las tendencias.
- Permitir ingreso manual de datos como resultado de pruebas de control de calidad del operador.
- Permitir ingreso o visualización de notas especiales.
- Permitir seleccionar reportes
- Permitir actualización de datos históricos.
- Mostrar estado del hardware del sistema de control y estadísticas de comunicaciones.
- Permitir al operador cancelar actividades actuales.
- Enviar las acciones de control inmediatamente y mostrar los cambios en el proceso lo suficientemente rápido para no fastidiar al operador o complicar el proceso.
- Mostrar información de estado y datos históricos en respuesta a una solicitud del operador. Dado que esto no afecta la operación de la planta, el tiempo de respuesta para consulta de datos históricos puede ser más lento.

Configuración de la interfase operador-proceso

La tendencia de los sistemas de control digital ha sido incrementar la cantidad de información de proceso que recibe el operador, tener menos operadores, automatizar mas funciones, evolucionar el acceso a información de paneles de control a pantallas de video, y colocar pantallas de video en las unidades de proceso y salas de control centralizado.

Una razón por la cual las pantallas de video son tan populares es que la estructura y esquemas de color del video pueden ser personalizados para alcanzar las necesidades de cada usuario. Si los operadores tienen dificultad relacionando la pantalla con el proceso, esta puede ser cambiada.

Una herramienta de configuración de interfase eficiente es necesaria para los sistemas de control digital. La configuración puede ser en línea a través de las pantallas del operador o fuera de línea por medio de una estación de trabajo de ingeniería. La estación de trabajo ofrece las funciones adicionales de diseño asistido por computador para pantallas en desarrollo.

3.3.4 Equipo de la interfase operador-proceso

Paneles de control

En la mayoría de las plantas, los paneles de control son aun el primer nivel de interfase operador-proceso. Típicamente, esos paneles tienen luces, interruptores, pulsadores y controladores. Algunos tienen anunciadores, algunos tienen tableros de mímicos y algunos pantallas de video.

Equipo tal como interruptores selectores, anunciadores, pulsadores y tableros de mímicos son importantes, especialmente en plantas donde los operadores hacen rondas y pueden tomar acciones de control desde salas de control central, centros de control de área o unidades de control de proceso. Los anunciadores pueden ser ubicados a través de la planta y las salas de control.

Pantallas de video

Hoy en día, las pantallas de video son los dispositivos de interfase de operador-proceso mas populares. Ellas son usadas en las unidades de proceso y en el nivel de proceso de área, a nivel de operación central de la planta y en sistemas distribuidos geográficamente. La información mostrada permite a los operadores monitorear y controlar las operaciones del proceso.

Los proyectores de video proporcionan una imagen mas grande de una pantalla de video. Se pueden usar sistemas de 1.5 m por 2.4 m. Estos son útiles como un medio de información en reuniones, entrenamiento de operadores y para guía de visitantes. Ellos pueden reemplazar eventualmente los tableros de mímicos cuando

la resolución mejora.

Impresoras

Las impresoras complementan las pantallas de video proporcionando una copia física de la información de alarmas y eventos e imprimiendo reportes de operación. Una impresora dedicada a imprimir alarmas proporciona un segundo tipo de anuncio de alarma audible. Cuando el operador escucha la impresora, una alarma ha ocurrido. Algunos sistemas pueden imprimir de nuevo las alarmas que no han sido reconocidas cada cierto tiempo como un recordatorio adicional para el operador.

3.3.5 DISEÑO DE LA SALA DE CONTROL

El adecuado diseño de las salas de control requiere de expertos especializados. El diseño debe producir un espacio de trabajo saludable y menos estresante para el operador. El diseño de la sala de control debe :

- Permitir al operador valorar el estado de un proceso de manera precisa a través de la presentación eficiente de la información.
- Optimizar la localización de información y los métodos de entrada para prevenir errores del operador.
- Mejorar las características de monitoreo y operabilidad por medio de simplificación operacional y automatización.
- Incluir la estructura, selección de color, iluminación y controles de temperatura.

Estructura de la sala de control

La estructura de la sala de control debe considerar el tamaño y la forma de la sala, posición de las ventanas y puertas, y el cableado. El número de personas, movimiento durante las operaciones de monitoreo normal y de emergencia; requerimiento de espacio para mantenimiento, impresiones, y almacenamiento en medio magnético; y demás puntos similares necesarios de considerar. La sala de control debe facilitar el flujo suave y eficiente de operadores y otros. Puede ser necesario dividir las funciones de monitoreo y control en bloques modulares. El campo de visión del operador y la agudeza visual en casos de monitoreo complejo son también otra consideración. Finalmente para que la estructura sea efectiva, se debe asegurar una comunicación suave entre los operadores.

Iluminación

La iluminación contribuye a la amenidad del ambiente. Una adecuada iluminación incrementa la eficiencia, asegura la seguridad operacional, y minimiza la fatiga del operador. A pesar de que las últimas pantallas de video tienen un brillo y claridad muy buenos, una iluminación poco cuidadosa puede generar problemas.

La iluminación pobre, usualmente resulta en cansancio visual del operador o en problemas visuales crónicos y fatiga. La reflexión de la iluminación interior en las pantallas o un ambiente con mucho brillo perjudica el reconocimiento de alarmas o datos. Salas de control complejas con tableros de mímicos y consolas de video deben tener una iluminación cuidadosamente planeada para optimizar el reconocimiento visual de los operadores. Las directrices de iluminación incluyen :

- Usar alumbrado de 500 a 700 lux para tableros de mímicos complejos que no emiten luz para asegurar el reconocimiento.
- Usar alumbrado de 300 a 500 lux para operación centrada en una consola de video.
- Usar aparatos de alumbrado tipo persiana para prevenir la reflexión directa de la fuente de luz en la pantalla de video.
- Ubicar la consola con las ventanas a los lados, no al frente ni detras
- Equipar cada ventana con una persiana o cubrirla con una película de barrera para la luz para controlar la intensidad de la luz entrante.

4 METODOLOGIA

Dado que el trabajo tiene tres objetivos fundamentales y que cada uno de ellos involucra unos temas específicos y un análisis particular, se desarrolló una metodología que consiste en la fundamentación teórica general que abarca aspectos de todos los objetivos y que se encuentra en el capítulo anterior. Posteriormente se desarrolla el análisis para cada uno de los objetivos en bloques individuales, haciendo una descripción de las oportunidades y/o necesidades sobre las cuales se va a trabajar y el estudio de estas situaciones y de las posibles soluciones; y finalmente se presentan los resultados para cada uno de ellos, también en bloques individuales.

Esta metodología permite evidenciar el avance claro en cada uno de los temas y da mas consistencia a los resultados alcanzados que se muestran mas adelante. En este orden de ideas se continua con el desarrollo del análisis para cada uno de los objetivos.

4.1 REDISEÑO DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACION EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

4.1.1 Sistema de tratamiento de agua potable en Aguas de Manizales

Aguas de Manizales posee actualmente dos plantas de tratamiento de agua potable, las cuales captan el agua cruda para su proceso de dos cuencas hidrográficas, cuenca del río Chinchina y cuenca de Rioblanco.

La Planta Niza, es el eje de distribución de toda la ciudad, fue construida en 1940, ubicada en el sector del Cerro de Oro, tiene una capacidad instalada de 600 Its/seg. La planta de tratamiento Luis Prieto Gómez, también llamada Gallinazo por su ubicación, fue construida en 1971; consta de una planta convencional, con capacidad de 800 Its/seg y una planta compacta, con capacidad de 666 Its/seg. En la Tabla 1 se muestra un cuadro de características de ambas plantas.

Cada una de las plantas es operada local e independientemente, es decir, en cada una existe una sala de operación desde la cual se supervisa y controla el proceso sin tener información del comportamiento de la otra.

	NIZA	LUIS PRIETO	
		1	2
Año De Construcción	1940	1971	1981
Capacidad	600 LT/S	666 LT/S	800 LT/S
Producción Promedio	250 LT/S	350 LT/S	350 LT/S
Tipo	Convencional	Compacta	Convencional
Numero de filtros	8	7	8
Capacidad de almacenamiento	4200	0	1850
Elevación (h)	2224	2293	2299
Norte (y)	1050396	1047109	1047101
Este (x)	1177498	1183587	1183537

Tabla 1. Características de las plantas de tratamiento

El proceso de tratamiento de agua potable en Aguas de Manizales, consta básicamente de los siguientes pasos, los cuales se pueden observar claramente relacionados en la Figura 3.

1. **CAPTACIÓN:** El agua se toma de la fuente natural en nuestro caso de los ríos Chinchiná, Cajones, Romerales, California, La María, Río Blanco, Olivares, Pinares y La Guerra. A través de unas rejillas denominadas Bocatomas, que hacen que los elementos como palos, hojas y material flotante queden retenidos

y no penetren a través de ellas.

2. **DESARENACIÓN.** En un gran tanque el agua se desplaza de un sitio a otro con el fin de que se depositen en el fondo de éste las piedras y arena que pueda traer.

3. **ADICION DE QUIMICOS:** El sulfato de aluminio y las aguas termales son agregados para que se inicie un proceso de aglomeración de partículas que finalmente van a ser removidas.

4. **COAGULACION Y FLOCULACION:** Los químicos adicionados anteriormente permiten que las partículas se unan entre sí y vayan formando partículas muy grandes denominadas Flocs.

5. **SEDIMENTACION:** El agua es llevada a un gran tanque donde los Flocs que se han formado, por su tamaño y peso, se depositan en el fondo de éste.

6. **FILTRACION:** Se hace pasar el agua sedimentada a través de un lecho formado por capas de arena, piedra y carbón mineral molido; allí se retienen todas las impurezas que le pueden quedar al agua.

7. **DESINFECCION:** Se usa una pequeña cantidad de cloro que al mezclarse con el agua, mata todos los gérmenes inclusive durante su transporte por las tuberías.

8. **ALCALINIZACIÓN:** Se agrega una cantidad de cal para asegurar el pH ideal y a la vez proteger las tuberías de la corrosión.

9. **ALMACENAMIENTO:** Después de que el agua pasa por todos los procesos anteriores, se sitúa en un tanque cerrado en el cual se espera el tiempo suficiente para que el agua se mezcle con el cloro y reaccione produciéndose la desinfección. Así el agua está lista para ser enviada por las tuberías a cada uno de los usuarios.

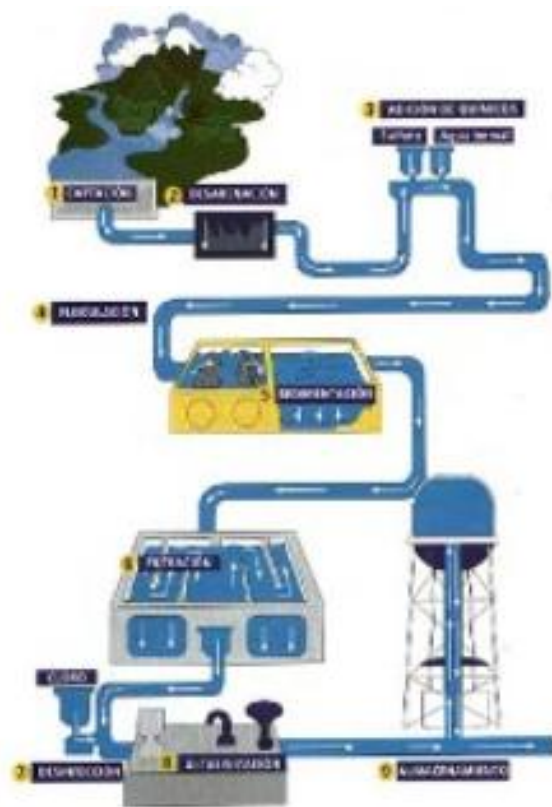


Figura 3. Proceso de tratamiento de agua potable.

4.1.2 Descripción del sistema de instrumentación y control actual

Aguas de Manizales, consciente de la necesidad de tener información de sus procesos que facilitara la operación y toma de decisiones en las plantas de tratamiento, inició desde finales de 1996 con un proyecto al cual se le dio el nombre de MACROMEDICION, el cual consistía en su momento, en la instrumentación de parte del proceso, visualización y almacenamiento de esta información a través de unos equipos y software apropiados para el alcance del proyecto en su primera etapa.

En este orden de ideas, se adquirieron inicialmente sensores de nivel y de caudal por ultrasonido, tecnología que se escogió dado que su instalación no requiere suspender el servicio o parar el proceso. Adicionalmente se instalaron módulos de adquisición de señales y software para supervisión del proceso, el cual se comunica directamente con los módulos de adquisición; todo esto montado bajo un esquema de control directo por computador.

Inicialmente sólo se hacía adquisición de la información generada por los sensores de caudal y nivel, pero con el paso del tiempo se fue ampliando la instrumentación en el proceso, incluyendo medición de variables de calidad del agua y algunas salidas para controlar el encendido / apagado de bombas en el lavado de filtros y dosificación de químicos, hasta tal punto que hoy en día se cuenta con un buen número de señales de entrada / salida tanto análogas como digitales en cada una de las plantas. En el Anexo 1 se puede ver el listado actual de señales en las dos plantas.

Esta arquitectura de equipos requiere que todo el cableado de las señales de instrumentación provenientes del campo (Planta) se concentre en un mismo lugar, donde está instalado el módulo de adquisición de señales, y dada la gran extensión de área que cubren las plantas de tratamiento, la longitud de los cables es igualmente larga, con todos los problemas que ésto genera.

Dadas las características propias del proceso de tratamiento, gran parte de la medición de variables se debe hacer en campo abierto, razón por la cual el cableado esta instalado por ductos que viajan a través de toda la planta hasta la sala de operación, lugar donde está instalado el módulo de adquisición de señales, con el agravante de que se comparten cámaras y, en algunos casos, hasta ductos del cableado eléctrico de la planta.

Teniendo en cuenta que el sistema de acueducto en la ciudad de Manizales funciona por gravedad, las plantas de tratamiento deben estar ubicadas en cotas mas altas que el resto de la ciudad para poder garantizar la prestación del servicio a toda su población. Además, por condiciones del terreno y el propio clima de la ciudad, los sectores donde están ubicadas las plantas de tratamiento son muy propensos a las descargas eléctricas.

Todos estos factores hacen que el cableado de instrumentación sea muy vulnerable a las descargas atmosféricas, lo cual se ha demostrado a lo largo del tiempo, puesto que en repetidas ocasiones se han quemado equipos por descargas provenientes del cableado de señal. Adicionalmente, debido al gran número de señales, el cableado se hace tan voluminoso que su administración y mantenimiento es muy complicado, llegando a incrementarse notablemente los tiempos de indisponibilidad del sistema cuando este falla por causa del cableado.

En aras de buscarle solución a este problema, se compraron unos elementos de aislamiento galvánico de fabricación regional que actúan como protecciones para las señales análogas, los cuales redujeron el índice de daños en los equipos pero demostraron ser no lineales, razón por la cual se está viendo afectada la calidad y veracidad de la información recolectada.

Todo este sistema inició funcionando con un software SCADA desarrollado bajo LabView®, el cual se dimensionó para la primera etapa del proyecto y como tal, fue necesario reemplazarlo por otro cuando se empezaron a incluir nuevas señales al sistema puesto que no se contaba con la licencia de desarrollo para la edición y modificación de éste. Sin embargo cuando se hizo el cambio del software, no se continuo con el mismo esquema sino que se contrató el desarrollo de un aplicativo de software bajo Delphi®, muy particular para cada una de las plantas y muy cerrado puesto que cualquier modificación hay que entrar a hacerla sobre 80.000 líneas de código de programa. Es decir, el software es cerrado y no está diseñado para que el usuario final lo personalice y lo ajuste a sus necesidades cambiantes. En resumen, el software que funciona actualmente en las plantas presenta en general los siguientes inconvenientes:

- Manejo deficiente de la seguridad
- Dificultad en la modificación o desarrollo de nuevas aplicaciones
- Es un sistema cerrado, pues en lugar de ser un sistema supervisor es un aplicativo de software desarrollado para la aplicación particular.
- Es un sistema que genera alta dependencia de terceros, puesto que cualquier cambio en su código lo debe hacer quien desarrollo el aplicativo.

Adicionalmente, este software está montado sobre un computador clon ensamblado con partes de distintas marcas. En este PC se tiene un sistema operativo Windows 98® y se han instalado varios programas de oficina para el uso de los funcionarios del área de producción.

En la Figura 4 muestra un esquema de esta arquitectura de trabajo del sistema de instrumentación en las plantas, teniendo en cuenta que en cada planta se manejan gran cantidad de señales E/S análogas y digitales.

Además, recientemente se hizo un mantenimiento y remodelación del proceso de floculación en ambas plantas de tratamiento, el cual consiste en un conjunto de motores encargado de mover unas paletas que agitan el agua a una velocidad que depende de las características de ésta. Como resultado de dicha remodelación, se instalaron unos variadores de velocidad para controlar dichos motores, y se les instalaron tarjetas de

comunicación Modbus para conformar posteriormente una red de comunicación entre ellos para su control.

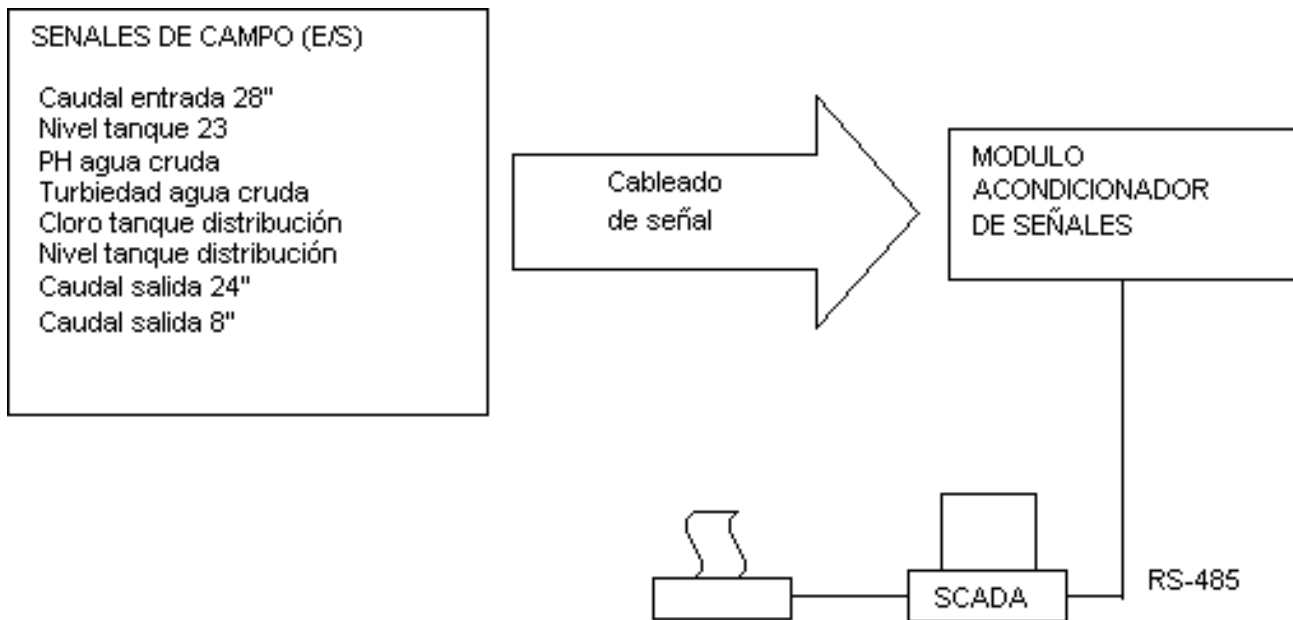


Figura 4. Esquema de trabajo actual del sistema de instrumentación en Plantas

Análisis del sistema actual

A partir de esta descripción del sistema de instrumentación actual, se hace el siguiente análisis que permite evidenciar sus falencias:

- La arquitectura de Control Directo por Computador implica un control centralizado, el cual es muy vulnerable ante cualquier falla del PC que cumple esta función.
- Dado que todo el cableado de señales debe concentrarse en el módulo de adquisición, se hace muy compleja la administración y mantenimiento del mismo.
- El crecimiento y desarrollo de la instrumentación depende de la capacidad máxima del módulo de adquisición, e implica cablear nuevas señales desde el módulo de adquisición hasta el sitio de medición

o control.

- A medida que se desarrollen nuevas rutinas de control, la capacidad del PC se verá limitada para soportar todo el proceso.
- El efecto de las descargas atmosféricas sobre el cableado y equipos del proceso es muy perjudicial debido al recorrido extenso y a las mismas condiciones de su instalación.
- Las protecciones instaladas no son apropiadas puesto que distorsionan la información de las variables medidas.
- El software de supervisión y control es muy cerrado y complicado de administrar.
- El computador que se utiliza para la supervisión del proceso no cumple con características adecuadas para un sistema de instrumentación, dado que no garantiza estabilidad ni plena compatibilidad entre sus partes.
- El sistema operativo de este PC no es el recomendado para el sistema de supervisión dada su inestabilidad y problemas de seguridad de acceso que presenta.
- Dada la segmentación del proceso de tratamiento en los pasos previamente descritos, la instrumentación instalada en las plantas también se encuentra distribuida según la parte del proceso en la que se encuentre.
- La mayor parte de las etapas que conforman el proceso de tratamiento se llevan a cabo en áreas muy separadas entre sí dentro de la planta.
- En cada planta existe un edificio donde esta ubicada la sala de operación, lugar donde se encuentra centralizado todo el cableado hacia las distintas partes del proceso.
- Las señales de instrumentación, en su mayoría análogas, están estandarizadas en salidas de 4 a 20 mA.

Análisis de oportunidades

De la descripción y análisis anterior se pueden sacar algunas conclusiones que servirán como punto de partida o criterio de diseño para el planteamiento de oportunidades de mejora y rediseño, dentro de las cuales se encuentran:

- Lo ideal sería plantear un control distribuido de tal manera que no se dependa exclusivamente del PC de supervisión, y que el sistema pueda seguir operando autónomamente ante una posible falla del software de supervisión.
- Se debe tratar de reducir el cableado tan complejo que se tiene actualmente o reemplazarlo por otro medio de transmisión.
- La solución sugerida debe garantizar flexibilidad y que el sistema sea abierto y fácilmente expandible, de tal forma que se reduzca la complejidad al adicionar señales al mismo.
- Igualmente se debe procurar por delegar la toma de decisiones y acciones de control a los equipos distribuidos y no al PC
- Se debe garantizar la adecuada protección contra descargas atmosféricas, tanto en los equipos como en el cableado.
- Asimismo se deben plantear protecciones apropiadas y completamente lineales para todas las señales

- El software SCADA sugerido debe ser flexible, abierto, fácil de administrar y manejar y compatible con los otros sistemas de la organización.
- El computador encargado de la supervisión del proceso debe ser, en la medida de lo posible, un servidor de marca reconocida con la configuración de hardware adecuada para las exigencias del proceso.
- Tanto el sistema operativo como el software de supervisión deben garantizar estabilidad, seguridad y compatibilidad con los sistemas de la compañía.

Planteamiento de soluciones

Con base en este estudio y teniendo en cuenta también las características del proceso de tratamiento, se plantea agrupar las señales por sectores o áreas según la distribución en cada una de las plantas, con el fin de reunir las en equipos distribuidos de adquisición y control, los cuales se pueden comunicar después entre sí y con el PC de supervisión utilizando un medio y un protocolo que permita reducir el volumen del cableado y garantizar buena protección contra descargas atmosféricas.

En las tablas del Anexo 2 se presenta la agrupación de señales sugerida para cada una de las plantas, incluyendo la descripción de las señales, el tipo y finalmente el conteo de señales por sitio para definir las características de los equipos necesarios.

En este proceso de revisión de señales para definir los grupos, se detectó la falta de un estándar que permitiera identificar cada una de las señales con una nomenclatura general donde se incluyeran datos del tipo de señal y la ubicación, así que se diseñó una nomenclatura acorde con las necesidades y se identificaron todas las señales según esta nomenclatura. Esta asignación se puede ver en la tercera columna de la tabla del Anexo 1.

A partir de esta distribución de señales en las plantas se puede determinar la cantidad de equipos necesarios para el sistema y sus características en cuanto a entradas y salidas se refiere, tal como se muestra en la Tabla 2.

Una vez definidos los grupos de señales que conformarían la red de equipos distribuidos en cada planta, el paso a seguir es la definición de que tipo de equipos utilizar con este propósito, razón por la cual se hicieron las consultas del caso, acudiendo a catálogos, manuales técnicos, documentación y asesoría de compañías dedicadas a proveer este tipo de soluciones.

Gracias a esta consulta se pudo determinar la oferta de equipos en el mercado, la cual es muy amplia en cuanto a marcas se refiere, pero básicamente gira alrededor de dos clases de equipos, a saber, RTU's y PLC's, tecnologías que se describieron en un apartado anterior y que se analizan en la Tabla 3 para establecer características y diferencias entre ellos.

Ubicación del equipo	Entradas		Salidas	
	Análogas	Digitales	Análogas	Digitales
Planta Niza				
Sala de Operadores	11	8	0	8
Floculación	6	0	3	0
Tanque 23	8	0	0	0
Tanque Distribución	9	0	0	0
Planta Luis Prieto				
Sala de Operadores	14	5	6	5
Sala de Filtros Planta 1	24	32	0	32
Sala de Cloración	7	0	0	0
Tanque 2	6	0	7	0

Tabla 2. Características de los equipos necesarios para el nuevo esquema de control distribuido

criterio	RTU	PLC
Capacidad de combinar distintos tipos de E/S en un mismo equipo.	Son muy limitadas, se deben escoger según las necesidades y no admiten cambios.	Son muy flexibles, puesto que ofrecen un número de bahías que se pueden configurar según las necesidades.
Capacidad de ampliación de E/S.	No permiten ampliación	Si permiten ampliación.
Capacidad para ejecutar rutinas de control secuencial	Algunos modelos permiten ejecutar estas rutinas.	Si permiten este tipo de control
Capacidad para ejecutar rutinas de control continuo	No tienen capacidades para este tipo de control.	Si permiten este tipo de control.
Capacidad de almacenamiento	Permiten almacenar datos en su memoria interna.	Usualmente no permiten almacenar datos internamente.
Opciones de comunicación	Se puede configurar sólo un puerto de comunicaciones a la vez.	Permite configurar distintos puertos de comunicación a la vez.
Facilidades de programación	Son rígidos, solamente ofrecen un lenguaje de programación.	Usualmente permiten programación bajo varios lenguajes.
Costo	Menos costoso que el PLC.	Mas costoso que la RTU.

Tabla 3. Cuadro comparativo de equipos para el sistema de instrumentación en plantas.

Adicionalmente, se debe definir la forma de interconectar los equipos distribuidos, teniendo en cuenta los análisis anteriores como criterios de diseño para este sistema. Entonces se estudiaron dos alternativas básicas que por sus características cumplen con los requerimientos planteados, a saber: Telemetría y Bus de Campo, cuyas definiciones básicas se mencionan en el marco de referencia y se comparan en la Tabla 4 para establecer su conveniencia.

criterio	Telemetría	Bus de Campo
----------	------------	--------------

Velocidad de transmisión	Se puede alcanzar máximo hasta 19.2 KBps	Dependiendo del protocolo se pueden alcanzar velocidades de hasta hasta 10 MBps
Protección contra descargas eléctricas	Es alta dado que no hay un medio físico que conecte los equipos. Se deben proteger las antenas.	Se puede alcanzar buena protección instalando equipos adicionales como protectores de bus.
Facilidad para incorporación de nuevos nodos	Es complicado y costoso debido a la infraestructura necesaria.	Es sencillo, simplemente se debe prolongar el bus.
Interoperabilidad del sistema	Reducida, pues en la mayoría de los casos requiere puertos especiales como RS-232 o Ethernet que no se poseen en equipos pequeños	Buena, puesto que la tendencia en la mayoría de equipos, sensores y actuadores es permitir conexión a un bus sin mayor sobrecosto.
Restricciones	Su mayor restricción es la línea de vista	Su principal restricción es la distancia
Intercambio de datos directo entre equipos	Es complicado, requeriría equipos y protocolos adicionales.	Es posible gracias a su topología en bus
Costos	Es costoso debido a la infraestructura necesaria por cada nodo. Costos de ampliación elevados.	Es menos costoso pues no requiere mucha infraestructura, y los costos de ampliación son mínimos.

Tabla 4. Cuadro comparativo de medios de comunicación para el sistema de instrumentación en plantas

Pruebas de equipos

Una vez analizadas estas tecnologías tanto para los equipos distribuidos como para el sistema de comunicaciones entre ellos, se hicieron contactos con diferentes proveedores con el fin de solicitar equipos en calidad de préstamo para hacer unas pruebas que permitan evaluar sus capacidades y comportamiento. En este orden de ideas se propuso la ejecución de unas pruebas básicas que permitieran medir el desempeño de ellos y se coordinaron según la disponibilidad de equipos por parte de los proveedores.

Como resultado de esta solicitud se obtuvieron varias ofertas, de las cuales dos llamaron especialmente la atención por el hecho de combinar apropiadamente las tecnologías anteriormente descritas a nivel de equipos y de comunicaciones, adicionalmente uno de los equipos propuestos ya ha sido utilizado en la empresa dentro del sistema de instrumentación de la red de distribución. Los equipos utilizados para las pruebas se describen a continuación:

- RTU Power Measurement, referencia PML 3800 MiniRTU.

Este equipo es una interfase inteligente para transductores, la cual se conecta directamente a una gran variedad

de transductores. Las señales de estos equipos pueden ser mostradas en su panel frontal y son también convertidas a formato digital para almacenamiento en su propia memoria y comunicaciones con un sistema SCADA.

La 3800 MiniRTU se basa en un microcontrolador de 12 MHz y 16 bits, lo cual le proporciona gran capacidad de computo, permitiéndole procesar la información en tiempo real. Las lecturas y configuración se almacenan en una memoria no volátil.

Este equipo posee cuatro entradas análogas comunes (un solo hilo) y cuatro independientes (dos hilos), las cuales pueden ser configuradas para voltaje o corriente. También tiene cuatro entradas de estado que pueden ser usadas para detectar y almacenar cambios en contactos externos como interruptores o estados del proceso y posicionamiento de equipos. Así mismo posee dos salidas por rele y una salida análoga de corriente. Esta RTU ofrece un puerto de comunicaciones que permite acceso remoto a la misma, el cual puede ser configurado como RS-232C o RS-485, y por medio del cual se puede configurar el equipo y transmitir datos a un SCADA. En el caso que nos ocupa, el puerto se configuro como RS-232C.

- PLC Telemecanique, referencia TSX 3722 Micro

Los PLCs TSX 3722 son autómatas que disponen de un reloj-calendario y admiten además una ampliación de memoria así como un acoplador de comunicaciones y puede extenderse con un módulo que posee varias bahías adicionales para tarjetas de entradas / salidas. Poseen funciones de conteo (10 KHz) y de entradas y salidas analógicas y digitales según los módulos que se instalen. Además cada autómata TSX 37-22 puede controlar, mediante módulos de desplazamiento, entradas / salidas remotas, bien sea por enlace nano-autómata (entradas / salidas constituidas por autómatas nano), o bien por medio de un bus.

Para efectos de las pruebas, los PLCs que se utilizaron tenían la siguiente configuración de canales: 16 entradas análogas, 16 entradas digitales, 12 salidas digitales y una tarjeta de comunicaciones con protocolo Modbus.

- Radio-modem Johnson, Dataradio Integra TR

Estos equipos son unos radios para transmisión de datos que trabajan en UHF en la banda de los 470 MHz, tienen un puerto serial RS-232C, transmiten a una velocidad máxima de 19,2 KBps con una potencia de 1 W aproximadamente y ya han sido ampliamente probados en la empresa dentro del sistema de telemetría para la red de acueducto, razón por la cual se quisieron utilizar en estas pruebas.

En ambos casos, las pruebas se hicieron en la oficina con dos equipos de forma local con varias señales análogas de entrada a ellos. Con cada uno de los equipos se utilizó un software SCADA distinto (ofrecido por

cada proveedor) para efectos de la prueba y posteriormente se utilizó el software que opera actualmente en el sistema para establecer su compatibilidad.

Las pruebas propuestas y efectuadas con ambos equipos fueron las mismas, y contemplaron los siguientes aspectos:

- Conexión de señales análogas y digitales de entrada
 - Se utilizaron dos sensores, uno de nivel por ultrasonido y otro de temperatura, ambos con salida de 4 a 20 mA
 - Igualmente se utilizó un interruptor para la entrada digital
- Comprobación de señales análogas y digitales de salida
 - Se forzaron las salidas y se verificaron los estados
- Programación de canales de entrada / salida
 - Configuración de los canales según el tipo de señal
 - Escalamiento de las variables
- Programación de un control en lazo cerrado
 - Establecimiento de un setpoint para indicación de alarma según un nivel dado
 - Programación de una salida análoga de 4 a 20 mA proporcional a la temperatura leída
- Transferencia de información hacia el software propio
 - Se conectó el equipo directamente al PC y por medio del SCADA propio de cada marca se leyeron las variables
- Configuración del sistema de comunicaciones
 - Se estableció una red con dos equipos bajo la configuración adecuada para cada uno de ellos (bus de campo, telemetría vía radio)
 - Se hicieron pruebas con el SCADA propio de cada equipo bajo esta configuración
- Pruebas de compatibilidad con el software existente
 - Con la red establecida y probada con el SCADA propio, se hicieron pruebas con el software actual de las plantas.

A continuación se describen los resultados de las pruebas con cada uno de los equipos, teniendo en cuenta la arquitectura utilizada en ambos casos, la cual se muestra en su diagrama respectivo.

Pruebas con la RTU PML 3800

Este equipo posee un puerto serial de comunicaciones que puede ser configurado como RS-232 o RS-485. El primero de los casos implica una configuración en estrella para conectar varios equipos al sistema supervisor, y el segundo una configuración en bus.

Ambas configuraciones podrían servir para la necesidad descrita, pero dado que con el otro equipo se probó el sistema de comunicaciones en bus, se decidió hacer la prueba completa de este equipo utilizando la configuración en estrella para así poder probar el sistema de comunicación por telemetría vía radio, tal como se muestra en la Figura 5.

Lo anterior implica que el software supervisor debe hacer el sondeo a cada uno de los equipos y que mientras está comunicado con uno de ellos pierde el enlace con los demás, puesto que se utilizaría un mismo puerto de comunicaciones para todo el sistema, lo cual puede generar retrasos en la información.

El software utilizado inicialmente para las pruebas fue el Pegasys®, SCADA de la Power Measurement utilizado en la compañía bajo licencia dentro del sistema de telemetría para la red de acueducto.

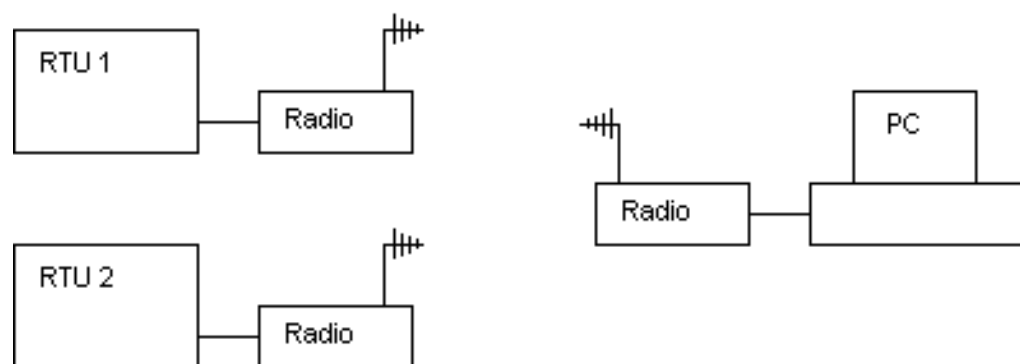


Figura 5. Esquema para la prueba con las RTU PML 3800

Las pruebas con este equipo no fueron satisfactorias por completo y se pudieron observar algunos aspectos importantes, a saber:

- Esta RTU no permite ampliación de entradas / salidas, lo cual indica que se debería pensar en un modelo superior para los sitios donde se requieran mas entradas o salidas, lo que a su vez implica un costo mayor.
- El equipo tiene memoria suficiente para almacenar datos en caso de que se pierda la comunicación con el software SCADA, información que puede ser recuperada posteriormente.
- Este modelo de RTU que utilizamos para la prueba, tiene bastantes limitaciones para la ejecución autónoma de lazos de control, puesto que no es posible programarle rutinas completas, solamente acepta programación de setpoints que pueden actuar sobre salidas por relé.
- El software PEGASYS es muy flexible, abierto y sencillo de programar.
- En las pruebas de compatibilidad con el software que está funcionando actualmente, se observó un

problema de fondo debido a la topología de la red de comunicaciones, y es que el software debe ser quien interroge a las RTU's, y en este programa no se tiene esa opción, por lo que habría que desarrollar un algoritmo en Delphi® con tal fin.

Pruebas con el PLC Telemecanique TSX 3722 Micro

Gracias a las tarjetas de comunicaciones de estos equipos, se pudo establecer una red Modbus pequeña con los dos equipos conseguidos para las pruebas, lo cual permite hacer una evaluación mas completa de los sistemas de comunicaciones.

En este orden de ideas, se conformó un bus de campo compuesto por dos PLCs. En la Figura 6 se muestra la disposición de equipos para la prueba con estos PLC's.

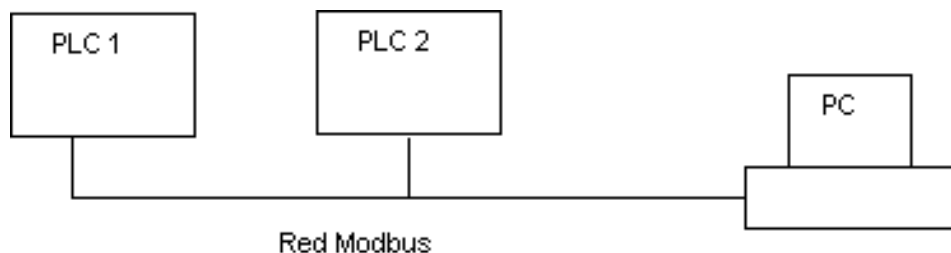


Figura 6. Esquema para la prueba con los PLC Telemecanique

Inicialmente, las pruebas se hicieron con el software PCIM, con el cual funcionaron muy bien los equipos y la red, y se demostró la flexibilidad del software en el diseño de esquemas y la configuración del mismo. Posteriormente se hicieron pruebas con el software que actualmente funciona en las plantas, y según los resultados se sacaron las siguientes conclusiones:

- La configuración de entradas / salidas de estos equipos es muy flexible y permite ampliaciones sobre la base del mismo PLC.
- Las posibilidades de programación de rutinas de control en este equipo son bastante amplias, y se puede hacer por medio de varios lenguajes de programación, tales como Diagramas Escalera, Lista de instrucciones, entre otros.
- La configuración de las tarjetas de comunicación para la red Modbus es sencilla y clara, basta con establecer velocidades de transmisión y direcciones.
- Estos equipos no tienen memoria para datos, es decir que en caso de perder comunicación con el SCADA, la información de ese tiempo se perdería.

- El software propio (PCIM) con el cual se hicieron las pruebas tiene todas las facilidades para la programación de variables de entrada y salida a través de la red Modbus.
- Para las pruebas con el software de supervisión actual se utilizó un driver para Modbus previamente desarrollado específicamente para este programa, y se tuvo buen resultado con la adquisición y envío de señales.

Como una prueba adicional sobre las planteadas inicialmente, se realizó la interconexión de estos PLCs configurados en red con el sistema SCADA que se utiliza en el sistema de instrumentación de la red de acueducto, PEGASYS. Con tal propósito se instaló provisionalmente este programa en un PC portátil y se configuró para intercambiar información con los PLCs bajo la red Modbus. Con esta prueba se obtuvieron muy buenos resultados, gracias a la flexibilidad del software y al conocimiento que se tiene sobre el mismo, y se demostró que posee grandes ventajas sobre el sistema que funciona actualmente en las plantas, a saber:

- Es un sistema abierto que permite desarrollar aplicaciones y modificarlas según sea necesario por medio de programación orientada a objetos.
- El manejo de los usuarios y la seguridad en el Pegasys es muy bueno.
- La configuración del protocolo de comunicaciones es fácil, y su desempeño muy bueno.
- Posee herramientas para la generación automática de reportes, gráficos de tendencias y de históricos
- Cuenta con asistentes para el desarrollo de consultas a la base de datos
- Permite intercambio de datos por medio de DDE

4.2 DISEÑO DEL ENLACE DE COMUNICACIONES ENTRE LAS PLANTAS NIZA Y LUIS PRIETO

4.2.1 Descripción de los sistemas actuales

Como se mencionó anteriormente, AGUAS DE MANIZALES tiene dos plantas de tratamiento de agua potable que trabajan independientemente y entre las cuales no se cuenta con un sistema de comunicación de datos. En Figura 7 se muestra la ubicación de las dos plantas sobre un plano a escala de la ciudad.



Figura 7. Ubicación de las dos plantas de tratamiento

La Planta Niza esta ubicada en la zona urbana de la ciudad, en un sector de fácil acceso que posee buena infraestructura de comunicaciones. En esta planta se encuentran ubicadas parte de las oficinas de la empresa, a saber, producción, facturación y sistemas. Adicionalmente, allí se encuentran los servidores y equipos principales para la red de datos de la compañía.

Desde esta planta se tiene instalado un cable de fibra óptica con una longitud de 3000 metros que enlaza la red de datos y el sistema telefónico con la sede administrativa donde se encuentran el 80% de las oficinas. De esta forma se tiene conformada una red Ethernet bajo Windows compuesta por aproximadamente 130 computadores, servidores AS/400, servidores de correo, firewall y acceso a Internet. En la Figura 8 se puede observar un esquema de la configuración de esta red.

La Planta Luis Prieto se encuentra en la zona rural, cerca de la vereda Gallinazo, dentro de un sector montañoso que dificulta mucho las comunicaciones tanto alámbricas como inalámbricas debido a lo retirado del lugar y a los obstáculos naturales que la separan del casco urbano de la ciudad.

Como se mencionó anteriormente en la descripción del sistema de instrumentación de las plantas, en cada una de ellas existe un sistema para la supervisión y control del proceso que incluye un computador con el software SCADA respectivo. Estos equipos no están enlazados debido a la ausencia de un sistema de comunicación de datos entre las plantas.

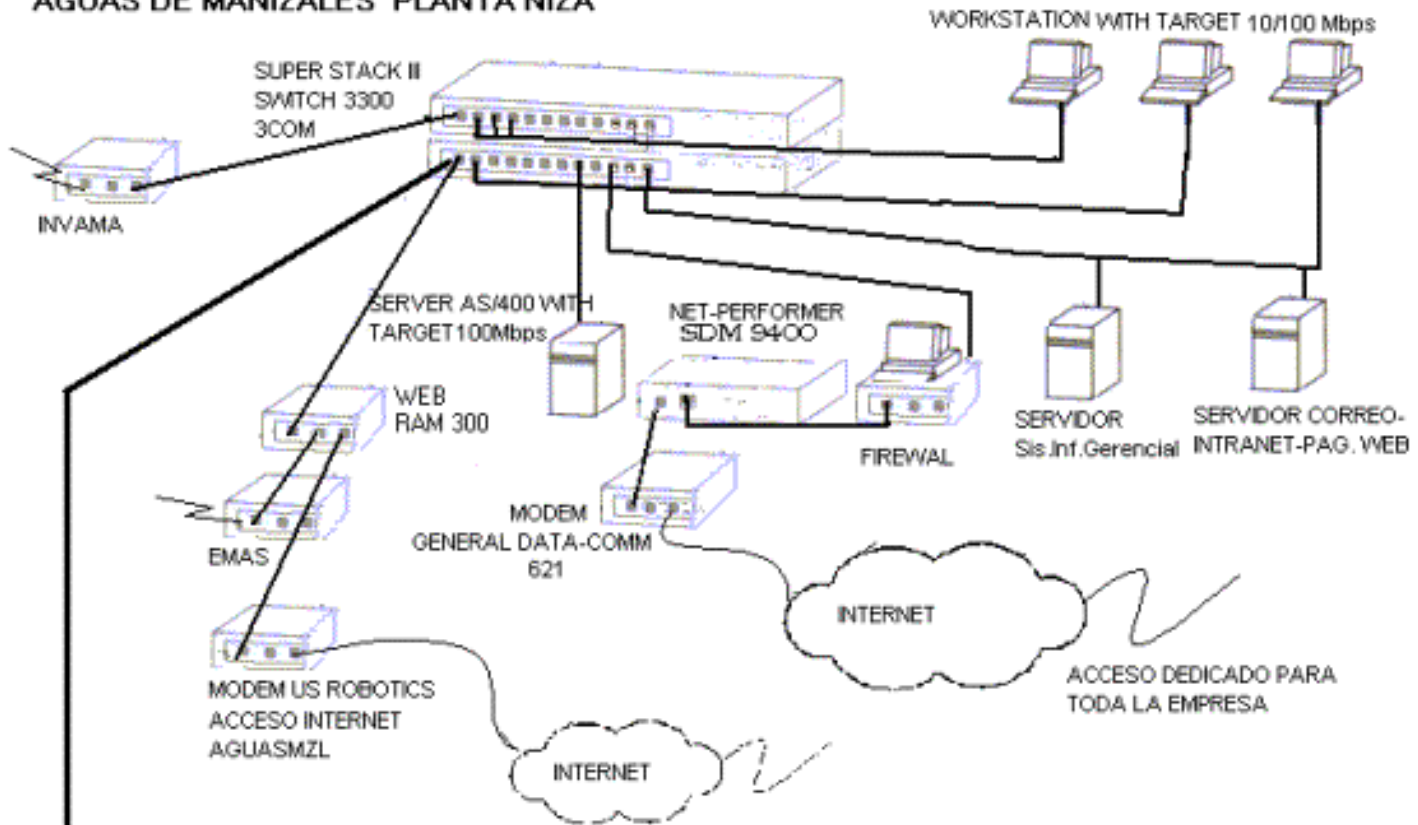
Teniendo en cuenta que en la planta Luis Prieto se trata el 70% del agua para la ciudad y que el 80% del agua que sale de ésta se recibe y distribuye en la planta Niza, es muy importante tener información y control en “tiempo real” sobre ella, puesto que ayudaría enormemente a la planeación de la producción y a tomar decisiones frente a cualquier situación que se presente. Además, para la operación general del centro de control es fundamental tener acceso al sistema de instrumentación de la Planta Luis Prieto.

Adicionalmente, a futuro se planea instalar un circuito cerrado de televisión en las dos plantas y en la sede administrativa con el fin de poder vigilar y supervisar las instalaciones desde el centro de control, razón por la cual es muy importante también tener el enlace de datos entre estas plantas.

Con base en este análisis se plantean los siguientes requerimientos para el sistema de comunicación entre las plantas :

- Debe ser un sistema que permita integrar los equipos y sistemas de la Planta Luis Prieto a la red de datos de la compañía.
- Se debe garantizar un enlace continuo y permanente, es decir, las 24 horas del día durante todo el año.
- El sistema de comunicación debe permitir acceso a servidores de red como:
 - Correo interno (Outlook)
 - Internet
 - Servidores de impresión
 - Circuito cerrado de televisión (CCTV)
- El sistema de comunicación debe permitir enlace directo entre los dos PCs donde corre el SCADA de cada planta.

AGUAS DE MANIZALES PLANTA NIZA



ENLACE POR FIBRA OPTICA MONOMODO

Nota: La fibra posee 6 hilos multimodo y 6 monomodo

AGUAS DE MANIZALES SEDE OPERATIVA

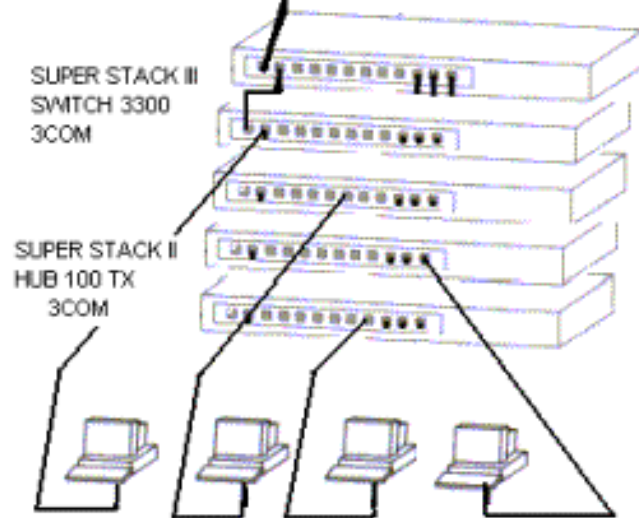


Figura 8. Diagrama de la red de datos actual de Aguas de Manizales

Dadas estas condiciones, se puede determinar que el sistema de comunicaciones a plantear debe establecerse a nivel de la red de datos, puesto que de hacerse sólo a nivel de la instrumentación, no se podrían garantizar todos los servicios requeridos, y a su vez esto implica que el software de supervisión debe tener la capacidad de compartir datos entre los aplicativos de las dos plantas a través de la red IP.

Alternativas de solución

Dado esto, se inició una investigación con el fin de poder determinar que alternativas de comunicación se pueden plantear para este enlace, teniendo en cuenta las restricciones propias que por su ubicación presentan los dos sitios. Tales como :

- Obstáculos naturales entre las dos plantas
- Poca infraestructura de comunicaciones en la vereda Gallinazo, lugar donde se encuentra la planta Luis Prieto
- Alto riesgo por descargas atmosféricas

Y considerando, además, que ya se han ensayado enlaces por par de cobre, tales como líneas REDSI, con resultados muy malos debido a la vulnerabilidad de las redes aéreas con respecto a las descargas atmosféricas y al rompimiento por caída de árboles o similares.

Entonces se encontró que las opciones de enlace a través de fibra óptica y enlace vía radio pueden ofrecer una solución adecuada bajo la presencia de las restricciones mencionadas. Entonces, teniendo estas dos alternativas como punto de partida para el análisis, se llevo a cabo una documentación general acerca de las dos tecnologías, la cual se muestra en el marco teórico.

Para completar el análisis de condiciones para la definición del sistema de comunicación entre las dos plantas, es necesario conocer el contexto físico, geográfico y de infraestructura de las dos plantas, el cual puede afectar y determinar la selección del enlace de comunicaciones. En este orden de ideas se hicieron visitas de campo para determinar las condiciones generales del terreno, las conducciones, torres e infraestructura propia y ajena existente y disponible.

Los aspectos claves que se analizaron tienen que ver con la existencia y disponibilidad de redes, torres y canalizaciones; las distancias, topografía, entre otras. Para esto se utilizaron herramientas y ayudas como el sistema de información geográfico, GPS, binoculares de largo alcance, visitas de campo y consultas con la empresa de telecomunicaciones de la ciudad. A continuación se describe la metodología empleada y se muestran los resultados.

Para comenzar, se hizo un análisis cartográfico para ubicar las dos plantas sobre planos con curvas de nivel y de esta manera conocer la topografía del terreno entre los dos sitios. Con este propósito se recurrió a la información de planos digitales existente en el Sistema de Información Geográfica de la empresa, donde con herramientas de software se pudo extraer un perfil de curvas de nivel del terreno entre los dos sitios, el cual se muestra en la Figura 9.

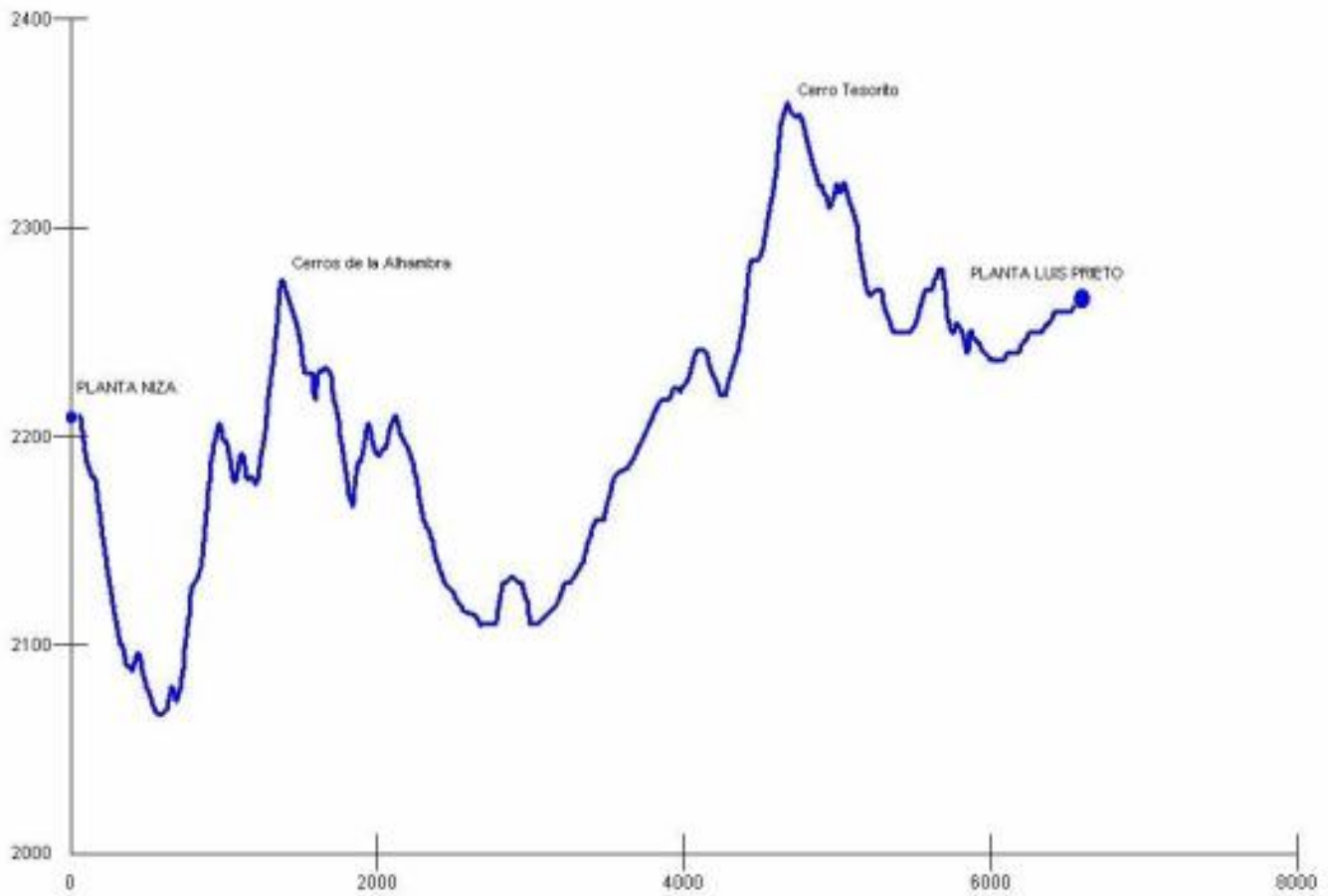


Figura 9. Perfil de terreno entre las plantas Niza y Luis Prieto

En este diagrama se puede ver claramente que la Planta Niza tiene una cota inferior a la Planta Luis Prieto, y que existe entre las dos un obstáculo natural de mayor altura que ellas (Cerro Tesorito), el cual impide el establecimiento de un enlace directo punto a punto puesto que no hay línea de vista entre ellas. Sin embargo, a pesar de que los resultados de este análisis muestran que no existe línea de vista entre las dos plantas y que no se puede hacer un enlace punto a punto directo, se llevó a cabo una visita de campo a las dos plantas y al cerro Tesorito para verificar esta información y hacer un levantamiento de puntos georeferenciados con un GPS y posteriormente hacer otro análisis con un software para estudios de propagación.

Los datos obtenidos con el GPS para cada una de las plantas y para el cerro Tesorito se pueden ver en la Tabla 5. Los valores están dados en metros y corresponden a las coordenadas planas en un plano cartesiano imaginario con respecto al punto (0,0) determinado por el meridiano Greenwich y el Ecuador.

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Altura H
Planta Niza	1'177.498	1'050.396	2224 m
Planta Luis Prieto	1'183.537	1'047.101	2308 m
Cerro Tesorito	1'181.209	1'048.690	2370 m

Tabla 5. Datos de ubicación geográfica de los puntos levantados en visita de campo

Esta información fue analizada con herramientas de software en el sistema de información geográfico de la compañía para determinar distancias, lineamientos y posible ubicación y direccionamiento de antenas, obteniendo el resultado que se muestra en la Figura 10.

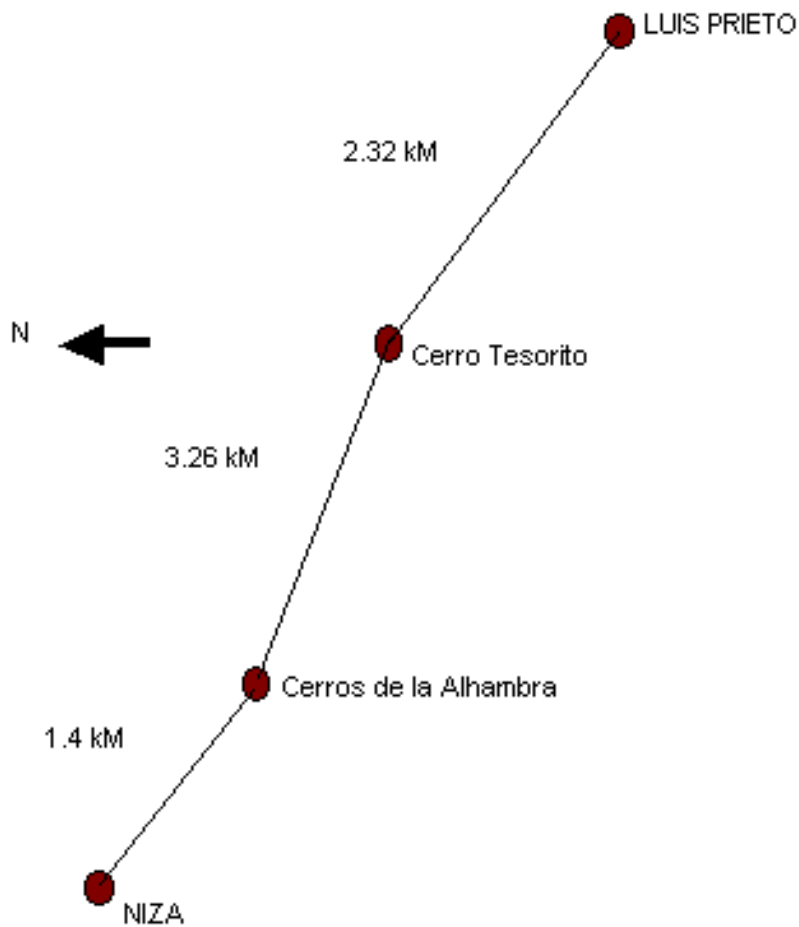


Figura 10. Datos levantados con GPS en visita de campo

Simultáneamente con el levantamiento de los puntos con GPS, se realizó una inspección visual desde cada

uno de los sitios para determinar visuales y puntos de referencia. Para este propósito se utilizaron unos binoculares de largo alcance especiales para estudios de propagación, instalación de antenas y establecimiento de enlaces.

Con esta evaluación visual se pudo determinar que efectivamente no existe visual directa entre las dos plantas de tratamiento y que el obstáculo más representativo que impide esta situación es el cerro Tesorito. Además, desde una ladera de este cerro se alcanza a ver la planta Luis Prieto, de tal forma que se pudo establecer un punto exacto sobre la ladera como referencia para las dos plantas.

Adicionalmente se hizo un estudio para determinar la factibilidad de instalar un cable de fibra óptica entre las dos plantas, para lo cual se consideró sólo la posibilidad de una instalación aérea puesto que la distancia, el tipo de terreno y los permisos y servidumbres que habría que conseguir son condiciones que hacen muy complicada la opción de instalación subterránea. En este orden de ideas, se hizo un recorrido entre las dos plantas siguiendo la ruta de unas torres de infraestructura eléctrica que pasan por la planta Niza y se dirigen hacia el sector de la otra planta.

Para facilitar el análisis de esta información, se hizo un levantamiento con GPS de las torres, de tal manera que se pudiera procesar y obtener datos de ubicación y de distancias, los cuales son definitivos para el estudio. En la figura Figura 11 se muestra la ubicación de las torres sobre un plano, así como la distancia total del recorrido por estas torres calculada con herramientas del sistema de información geográfica, y cuyo valor corresponde a 8.698 metros.

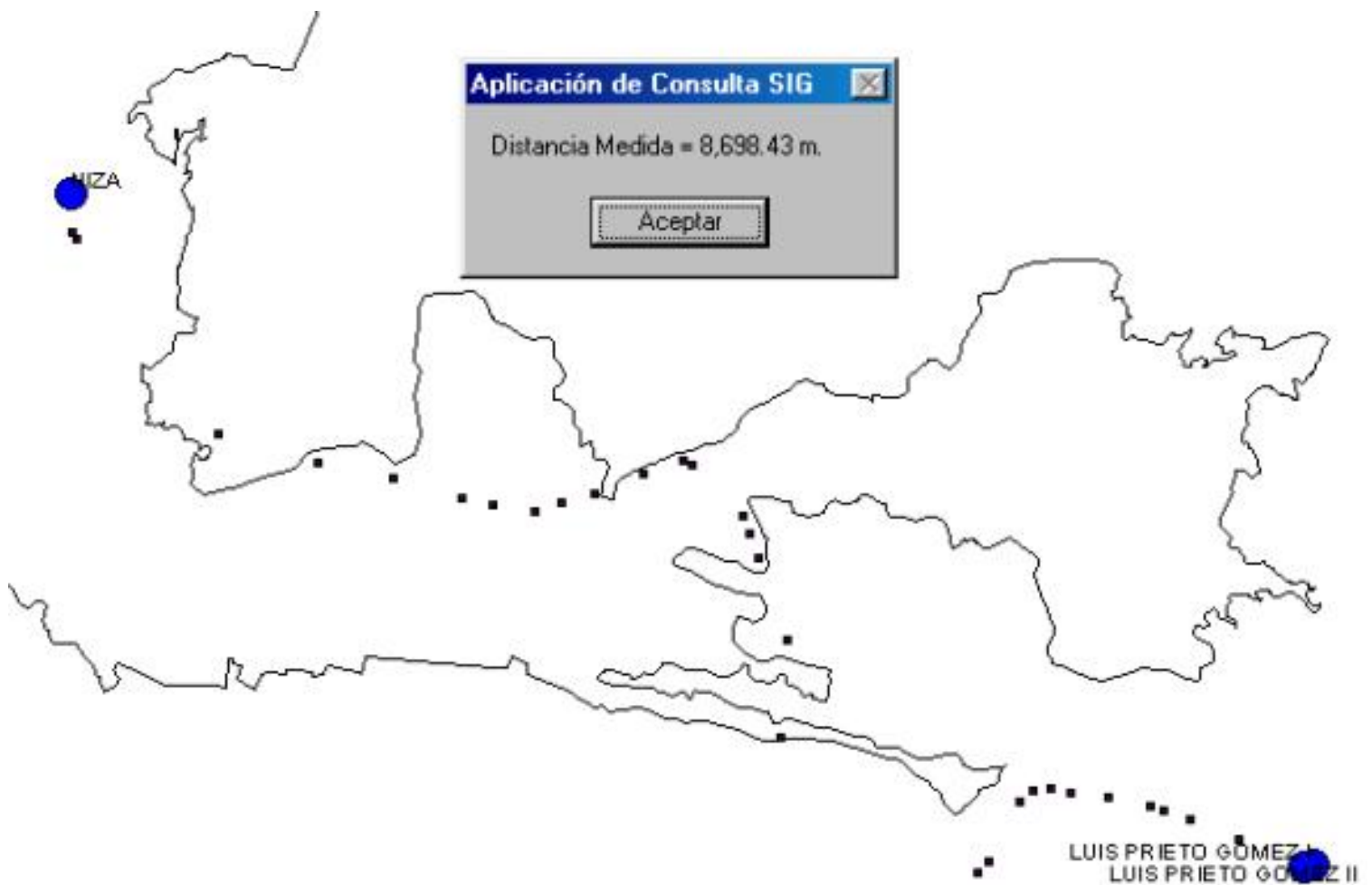


Figura 11. Levantamiento de torres de infraestructura eléctrica entre las dos plantas

Con base en esta información se hizo un análisis inicial partiendo de las distancias y disponibilidad de infraestructura, y se consiguieron cotizaciones de una fibra óptica monomodo de seis hilos tipo aérea, pensando en tener unos hilos de reserva, con el fin de hacer una evaluación económica del proyecto.

Teniendo en cuenta la longitud de fibra óptica necesaria para el enlace, según los datos obtenidos anteriormente, se hizo un incremento del 15% que se considera indispensable como ajuste por posibles errores de cálculo y reserva que por norma se debe dejar en las torres, teniendo como longitud aproximada final 10.090 metros. Esta información se cruzó con un valor por metro lineal instalado de US\$ 3.78 resultado de las cotizaciones que se consiguieron, obteniendo como costo final del proyecto un total de US\$ 38.140,2 sin incluir el costo de por lo menos cinco torres que habría que instalar, ni de accesorios de fijación a las torres y tampoco los posibles repetidores que se deban colocar.

Todo esto sumado al hecho de que las torres por las cuales se está planteando el transporte de la fibra, son redes primarias de alta tensión y que sería necesario solicitar autorización a la empresa de energía para la instalación y posiblemente se deba pagar una servidumbre o algo similar. Dadas estas condiciones se pudo establecer que la instalación de una fibra óptica entre las dos plantas sería demasiado costosa por las distancias y la infraestructura adicional que habría que construir, lo cual hace que esta alternativa sea inviable

económicamente.

Dado esto, se continuó analizando la alternativa de comunicación vía radio, puesto que es la que tiene más viabilidad técnico-económica, y dado que ya se tenía todo el levantamiento de campo hecho, se contactaron varias compañías especializadas en telecomunicaciones y luego de plantearles el proyecto, se recibieron dos propuestas de equipos y se coordinó la ejecución de pruebas según la disponibilidad de los mismos. Los equipos ofrecidos se describen a continuación

- Radio-modem DataLinc SRM6200E

El radio-modem SRM6200E es un modem inalámbrico que trabaja en la banda de los 902 a 928 MHz con una tecnología de espectro esparcido (spread spectrum) que puede ser interconectado con muchos protocolos Ethernet. Los modems pueden ser configurados como maestros o remotos según las necesidades. La velocidad de datos puede ser hasta 110 KBps, y la conexión es a través de un puerto Ethernet 10BaseT con conector RJ-45.

El SRM6200E opera como un Bridge Ethernet para enlazar dos segmentos de red o conectar múltiples nodos Ethernet a un equipo maestro, y tiene soporte completo para los protocolos basados en TCP/IP.

El SRM6200E es ideal para aplicaciones en sistemas de automatización industrial que requieren :

- Comunicaciones de PLC a PLC o de PLC a PC
- Comunicaciones entre la planta automatizada y sistemas de información corporativos
- Diagnóstico y programación remota de PLCs
- Cualquier aplicación donde la instalación de cableado Ethernet sea muy costosa o poco conveniente.

- Radio Western Multiplex Tsunami 10BaseT

Opera en la banda de 2.4 GHz con tecnología de espectro esparcido (spread spectrum), con velocidad de datos de 2 MBps, potencia de salida de +27 dbm, con un puerto Ethernet 10BaseT con conector RJ-45.

Ejecución de pruebas

Para efectos de evaluar el desempeño de los equipos en igualdad de condiciones, se diseñó un protocolo de pruebas que se debía aplicar a ambos equipos para facilitar el análisis posterior.

El protocolo de pruebas utilizado contempla la ejecución de pruebas a dos niveles; inicialmente se plantea una prueba punto a punto con línea de vista directa y a una distancia corta (dentro de la misma oficina) para verificar el funcionamiento e interconectividad de los equipos, y posteriormente la prueba final entre las dos plantas, tratando de ubicar las antenas y equipos con la infraestructura existente. Las pruebas sugeridas permiten evaluar aspectos como los siguientes :

- Conectividad de los equipos a la LAN existente.
- Ancho de banda y velocidad de transmisión.
- Tiempo de respuesta y retraso de la información
- Integridad de los datos
- Potencia de transmisión y alcance

Las pruebas efectuadas consistieron en lo siguiente :

- Conectar uno de los equipos de radio a un punto IP de la red LAN
- Conectar al otro de los equipos de radio un computador previamente configurado para trabajar en la LAN
- Hacer una exploración de la red desde este computador para verificar su conectividad a la LAN
- Abrir el manejador de correo interno (Outlook) y enviar un archivo previamente escogido a una dirección de Hotmail
- Abrir el explorador de Internet, conectarse a Hotmail y descargar el archivo previamente enviado
- Conectarse como usuario al servidor del sistema SCADA de Telemetría y abrir el diagrama principal del sistema, hacer una exploración y conectarse a una de las estaciones.

4.3 DISEÑO DEL CENTRO DE CONTROL

Teniendo en cuenta los conceptos y criterios de diseño para centros de control que se mencionaron en el marco teórico, se busca hacer una primera aproximación a lo que sería el centro de control para Aguas de Manizales, siguiendo una metodología que consiste en describir inicialmente los sistemas, elementos y/o equipos existentes o proyectados que deben quedar incluidos dentro de la estructura de dicho centro de control. Posteriormente se hará un análisis de requerimientos que debe cumplir el centro de control para permitir el manejo de toda esta información; para finalmente proponer un diseño general.

Antes de continuar con el desarrollo de esta metodología, hay que mencionar que la cultura general de las organizaciones de este tipo en cuanto se refiere a los aspectos tecnológicos especializados como el que estamos tratando, no es muy buena, y que por eso mismo se pueden presentar malas interpretaciones y hasta

resistencia a la implementación de herramientas de esta índole, sobre todo cuando se está incorporando tecnología a los oficios básicos que por tradición han sido desarrollados por personal operativo.

Adicionalmente, teniendo en cuenta que el nivel de automatización actual en la compañía es relativamente bajo, y que los proyectos de este tipo se deben desarrollar por etapas para optimizar el uso de los recursos; se propone como estrategia no utilizar el nombre de “Centro de Control” para el proyecto que se plantea, sino mas bien “Centro de Gestión y Supervisión”, con lo cual se busca disminuir el impacto negativo que esto pueda generar en la organización por lo que puede significar la palabra “control” en un sistema como el acueducto.

4.3.1 Dimensionamiento del Centro de Gestión y Supervisión

Como punto de partida para el diseño, se establecen a continuación unas premisas claras sobre lo que debe llegar a ser el centro de control, tanto desde el punto de vista de los sistemas que se deben involucrar como de la manera en que se debe integrar al resto de la organización no solo a nivel tecnológico sino a nivel administrativo.

El Centro de Gestión y Supervisión integrará los procesos que conforman el ciclo del agua, es decir: Captación (estaciones meteorológicas, hidrométricas y de calidad), Tratamiento (instrumentación de plantas – Macromedición) y Distribución (instrumentación de la red de distribución, puntos PIER, calidad – Telemetría); así como el circuito cerrado de televisión (CCTV). Permitiendo la operación desde un Centro de Gestión Principal, con la alternativa de un Centro de Gestión Alterno y compartiendo la información por la red de computadores (LAN).

A través del tiempo, AGUAS DE MANIZALES S.A .E.S.P ha hecho inversiones considerables en cada uno de sus procesos en lo que se refiere a la instrumentación, lo cual permite ahora tener parte de la información de estos procesos por medio de los sistemas actuales. Esta fase de instrumentación no se ha terminado aún. La fase siguiente consiste en la centralización de información por medio del Centro de Gestión y Supervisión, el cual es el punto de partida para la optimización de los procesos, objetivo que se podrá alcanzar finalmente cuando se pase a la tercera fase de Automatización, en la cual se instalarán PLCs y actuadores suficientes tanto en las plantas de tratamiento como en el sistema de distribución para facilitar el control automático.

Teniendo como criterio inicial el hecho de que el Centro de Gestión y Supervisión debe ser un sistema distribuido, flexible y abierto al cual tenga acceso toda la organización, y luego de las consideraciones técnicas respectivas, se plantea la siguiente estructura en cuanto a Hardware y Software para la conformación del Centro de Gestión y Supervisión, la cual es flexible y consta de los siguientes elementos:

- Centro de Gestión Principal ubicado en la Sede Administrativa, contiguo a la Central de Información,

teniendo en cuenta que esta oficina atiende las 24 horas del día y es el puente directo con las cuadrillas de operación y mantenimiento. Desde este lugar se realizará la operación permanente del sistema, contando desde luego con el personal adicional necesario para dicha labor.

- Adquisición de información, respaldo, protección y enlace con la LAN a través de servidores ubicados en la Planta Niza.
- Centro de Gestión Alternativo ubicado en la Sala de Operadores de la Planta Niza. En condiciones normales, desde este sitio sólo se operará la Planta Niza, pero contando ya con una visión integral del sistema gracias a la información total del mismo. En caso de una emergencia se podrá realizar toda la gestión del sistema desde este Centro de Gestión Alternativo.
- Centro de Gestión Alternativo en la Planta Luis Prieto, para la operación de esta planta contando con la visión completa del sistema.
- A medida que se avance en el desarrollo del proyecto se podrán tener Pantallas de consulta distribuidas a través de la red.

Gracias a la flexibilidad del esquema propuesto se podrá contar con diferentes esquemas de administración y operación, dentro de los cuales consideramos los siguientes:

- Gestión permanente desde la Central de Información con la posibilidad de gestión alterna desde Niza y con acceso a la información por la red. Esta opción implica contar con personal adicional al de la central de información, con un perfil diferente apropiado para la labor.
- Gestión permanente desde la Sala de Operadores de la Planta Niza con otro Centro de Gestión Alternativo en la Central de Información y acceso a la información por la red. En este caso se considera que el perfil del personal que labora en la planta es adecuado previa capacitación en el manejo del software y en lo que tiene que ver con las redes de distribución.

Como se mencionó anteriormente, el centro de gestión debe involucrar diferentes sistemas que la empresa posee o esta desarrollando en diversas partes de su ciclo de proceso, tales como estaciones meteorológicas e hidrométricas, instrumentación de plantas, instrumentación de la red de distribución y circuito cerrado de televisión. En el apartado anterior de este trabajo se describe ampliamente el sistema de instrumentación de las plantas, y a continuación se hará una breve descripción de los demás para tener una idea clara del papel que desempeñarán en el centro de gestión y supervisión.

Estaciones Meteorológicas. Aguas de Manizales posee dos estaciones meteorológicas ubicadas en sendas cuencas hidrográficas desde las cuales se capta el agua cruda para las plantas de tratamiento. En estas estaciones se miden variables ambientales para analizar el comportamiento y la influencia del clima en la producción de agua en las cuencas, así como alertar sobre posibles crecientes o avalanchas en las bocatomas de las plantas.

Estaciones Hidrométricas. Consisten en la medición de los caudales disponibles en los ríos y quebradas de donde se capta el agua para el tratamiento. Actualmente la empresa esta desarrollando proyectos para la implementación de varias estaciones de estas, así como para la transmisión de datos en tiempo real tanto de las

estaciones meteorológicas como de las hidrométricas.

Instrumentación de la red de distribución (Telemetría). Este sistema consiste en una red de equipos (RTUs) instalados en 18 tanques de la ciudad, los cuales a través de sensores miden niveles, caudales y presiones en los tanques y en algunas de las redes de distribución. Estas RTUs están comunicadas a través de enlaces vía radio con un SCADA que corre en un PC instalado en la sede administrativa y que comparte la información por la LAN corporativa con una estación de consulta. Este es quizás el sistema de instrumentación mas avanzado y estable que posee la empresa, posee muy buenas características tanto de hardware como de software y es uno de los que más información puede generar para el centro de gestión y supervisión.

Este sistema cuenta con un software de supervisión del la Power Measurement llamado PEGASYS, el cual es muy abierto y orientado por completo a la programación y ajustes por parte del usuario final, lo cual le permite a la compañía hacer sus propios desarrollos y actualizaciones sin depender de terceros; además tiene la característica de ser ilimitado en cuanto al número de señales que puede manejar.

Circuito cerrado de televisión CCTV. La empresa proyecta instalar unos sistemas de monitoreo con cámaras de video en las dos plantas de tratamiento y en la sede administrativa, con una plataforma tecnológica tal que permita el envío de información por la LAN para que pueda ser administrado y monitoreado por medio de un servidor en el centro de gestión y supervisión.

Teniendo en cuenta que todos estos sistemas son de vital importancia para el desarrollo diario de las actividades en la empresa, y que todos se aportan entre sí información necesaria para coordinar dichas actividades, se debe proponer una arquitectura que garantice la integridad del sistema y de los datos que se generan, reduciendo la vulnerabilidad del mismo frente a factores externos como daños de equipos o en los sistemas de comunicación.

4.3.2 Análisis de requerimientos

Teniendo claro el alcance del centro de gestión y supervisión en cuanto a los sistemas que debe atender y a los usuarios de estos sistemas, se definen a continuación los requerimientos generales desde el punto de vista de las funciones que se deben cumplir tanto por parte de los operadores del sistema como del propio sistema en general.

Dado que el centro de gestión y supervisión estaría encargado de manejar varios sistemas que corresponden a distintas áreas dentro de la organización, es importante definir que tipo de información y/o alertamientos se deben generar para cada una de ellas y establecer claramente los procedimientos para este propósito. Dado esto y teniendo en cuenta el alcance de este trabajo, no se van a definir tales procedimientos, sino que se va a presentar el análisis de requerimientos general.

El centro de gestión y supervisión debe estar en capacidad de :

- Proporcionar información en tiempo real del comportamiento de los sistemas
- Coordinar y supervisar la operación de las plantas de tratamiento
- Coordinar y supervisar la operación del sistema de distribución
- Compartir entre las distintas aplicaciones de instrumentación, la información generada por ellos.
- Reconocer situaciones de alerta en distintos niveles y actuar frente a ellas según el caso, bien sea actuando directamente sobre la parte del proceso que está afectada o comunicando por el medio establecido dicha situación.
- Generar reportes de información instantánea bajo solicitud de los usuarios y transmitirlos por el medio apropiado
- Generar, imprimir y/o transmitir reportes de alarmas
- Generar reportes de información consolidada según las necesidades de las distintas áreas y transmitirlos por el medio convenido.
- Hacer copias de seguridad de la información almacenada.
- Facilitar las herramientas y ayudas audiovisuales para operación del sistema bajo situaciones de emergencia.
- Compartir toda la información que allí se genere a través de la LAN corporativa
- Gestionar la seguridad de acceso a la información, tanto local como remotamente

Debido a la gran cantidad de información que se producirá en el centro de gestión y supervisión, así como a la diversidad de clientes que llegará a tener en un momento dado; el número de reportes, consultas, listados, gráficas, tendencias y demás información que deberá producir será muy elevado y muy diverso, así que este tipo de información se deberá definir con cada uno de los usuarios del sistema en el momento indicado dentro del proceso de implementación. En este orden de ideas no se incluye el detalle de estos reportes dentro del alcance de este trabajo.

También se debe contar en el centro de gestión principal y en el secundario con los sistemas de comunicaciones de voz indicados para hacer los reportes de alarmas que genere el sistema.

Considerando además los criterios de diseño y fundamentación teórica que se presenta al principio de este documento, se debe contar con una interfase operador-proceso que represente claramente los procesos, de tal manera que permita a los operadores reaccionar adecuadamente ante cualquier situación reduciendo la posibilidad de incurrir en errores.

5 RESULTADOS

5.1 SISTEMA PROPUESTO PARA LA INSTRUMENTACIÓN DE PLANTAS

Luego de haber efectuado las pruebas se hace la siguiente comparación que, junto con las presentadas anteriormente sobre los equipos y sistemas de comunicación, pretende hacer una evaluación para la posterior selección del equipo y sistema de comunicación que finalmente se sugerirá.

Criterio	RTU PML 3800 con telemetría vía radio	PLC Telemecanique TSX 3722 Micro con red industrial Modbus
Interfases de señales	Los tipos de interfases para entradas y salidas están limitados y no se pueden cambiar en este modelo de equipo.	El equipo es muy flexible y se puede configurar con tarjetas de E/S según las necesidades de interfases con la instrumentación.
Capacidad de ampliación	No se puede ampliar	Tiene mucha capacidad de ampliación por medio de bahías universales para tarjetas de E/S
Capacidades para control secuencial y continuo	Solamente se pueden programar un número determinado de setpoints	Tiene amplias capacidades para ambos tipos de control, y se puede programar con varios lenguajes de desarrollo.
Sistema de comunicación	A pesar de ofrecer buena velocidad de transmisión y muy buena protección contra descargas, se generan tiempos muertos que se evidencian en mayor medida cuando se aumente el número de nodos. Requiere mucha infraestructura de antenas y equipos y es costoso.	Es un sistema muy ágil, rápido, sencillo, escalable y con ampliaciones simples que lo hacen muy atractivo y económico. Se debe reforzar el asunto de las protecciones contra descargas para garantizar integridad al sistema y los equipos.
Interoperabilidad con el software actual de plantas	No funcionó bien con el software actual de plantas debido al manejo de las comunicaciones en dicho programa. Se podría desarrollar un driver con tal propósito.	Funcionó bien gracias a la existencia del driver para Modbus.

Interconectividad con los sistemas existentes en las plantas.	No se pueden involucrar todos los equipos existentes con una arquitectura de este tipo; se tendrían que combinar varios sistemas de comunicación	Se pueden involucrar todos los equipos existentes gracias a la tendencia de estandarización del modbus a nivel de instrumentación.
Costo	Es costoso debido a la cantidad de equipos (radios) que habría que comprar y a la infraestructura necesaria para su instalación. La ampliación es costosa también.	El costo inicial para establecimiento de la red física (cableado), es un poco alto, pero se compensa con el número reducido de equipos necesarios y con el bajo costo de ampliación.

Tabla 6. Comparación de equipos para la instrumentación de las plantas

Luego del análisis hecho al sistema actual, las opciones estudiadas, la arquitectura propuesta y las pruebas ejecutadas se pueden destacar algunos aspectos con el ánimo de establecer finalmente la propuesta sobre el rediseño del sistema de instrumentación en las plantas de tratamiento. A Saber :

- La configuración de equipos distribuidos es una buena alternativa para reducir el volumen del cableado que debe llegar hasta la sala de operación de la planta.
- Los equipos distribuidos garantizan, además, un control eficiente e independiente del sistema supervisor.
- La ampliación y/o crecimiento del sistema se hace mas sencilla y menos costosa con esta arquitectura de equipos distribuidos.
- Los PLC's proporcionan características muy buenas en cuanto a capacidad de entradas / salidas y de procesamiento para rutinas de control, y aunque no poseen capacidad de almacenamiento de datos, esto se puede resolver con un buen sistema de comunicaciones y de respaldo en el sistema supervisor.
- Teniendo en cuenta que en las plantas ya existe una canalización para el cableado de instrumentación y que es menos costoso implementar un bus de campo que un sistema de telemetría vía radio; es mejor conformar un bus de campo con todas las protecciones del caso.

Dadas estas conclusiones, se plantea a continuación la distribución de equipos, arquitectura y configuración del sistema de instrumentación sugerido para las plantas de tratamiento, luego de haber hecho una revisión detallada de las posibilidades ofrecidas por el proveedor y la selección de los equipos mas ajustados a las necesidades del proceso.

El sistema de instrumentación para las plantas de tratamiento de Aguas De Manizales, debe ser un sistema conformado por una red industrial de PLC's Telemecanique distribuidos según se muestra en la Tabla 4. Estos equipos estarán comunicados entre si y con el sistema supervisor por medio de un bus de campo bajo el protocolo Modbus.

La distribución de equipos en cada una de las plantas se hizo teniendo en cuenta los grupos de señales definidos en el Anexo 2 y según las necesidades de control en lazo cerrado en cada una de las partes del proceso. Esto se puede observar en la Tabla 7.

Sobre esta configuración básica se debe incrementar el número de entradas y salidas de reserva necesarias según el crecimiento futuro de la instrumentación en las plantas, aunque se sugiere comprarlas por etapas ya que los PLCs permiten ampliaciones con mucha facilidad.

Ubicación	Descripción del equipo
Planta Niza	
Sala de Operadores	1 PLC TSX Micro con: 11 entradas análogas 8 entradas digitales 8 salidas digitales
Floculación	1 Estación Momentum con : 6 entradas análogas 1 Estación Momentum con : 3 salidas análogas
Tanque 23	1 Estación Momentum con 8 entradas análogas
Tanque Distribución	1 Estación Momentum con 9 entradas análogas
Planta Luis Prieto	
Sala de Operadores	1 PLC TSX Micro con: 14 entradas análogas 5 entradas digitales 6 salidas análogas 5 salidas digitales
Sala de filtros planta 1	1 PLC TSX Micro con: 24 entradas análogas 32 entradas digitales 32 salidas digitales
Sala de Cloración	1 Estación Momentum con 7 entradas análogas

Tanque 2	1 Estación Momentum con : 6 entradas análogas 1 Estación Momentum con : 7 salidas análogas
----------	---

Tabla 7. Equipos sugeridos para el sistema de control distribuido

El esquema de la Figura 12 muestra un diagrama de la arquitectura y distribución de equipos sugerida para la Planta Niza, y en la Figura 13 para la Planta Luis Prieto.

Finalmente, teniendo en cuenta que el software es una parte fundamental de un sistema de instrumentación, que el sistema que actualmente funciona en las plantas de tratamiento presenta inconvenientes graves y que las pruebas con el software Pegasys arrojaron un buen resultado; se recomienda reemplazar el sistema actual por un desarrollo que se ajuste a las necesidades hecho con Pegasys.

5.2 DISEÑO SUGERIDO PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIONES

5.2.1 Análisis de resultados

La primera prueba se llevo a cabo dentro de una oficina con una separación entre antenas de aproximadamente 15 metros y con línea de vista directa. Se utilizaron las antenas de látigo suministradas con los equipos y la conexión a la red Ethernet se hizo a través de un switch 3Com con puertos 100BaseT, de igual forma se utilizó un computador Pentium IV previamente configurado y probado para trabajar en la LAN y con todas las aplicaciones de software necesarias para ejecutar las pruebas descritas anteriormente.

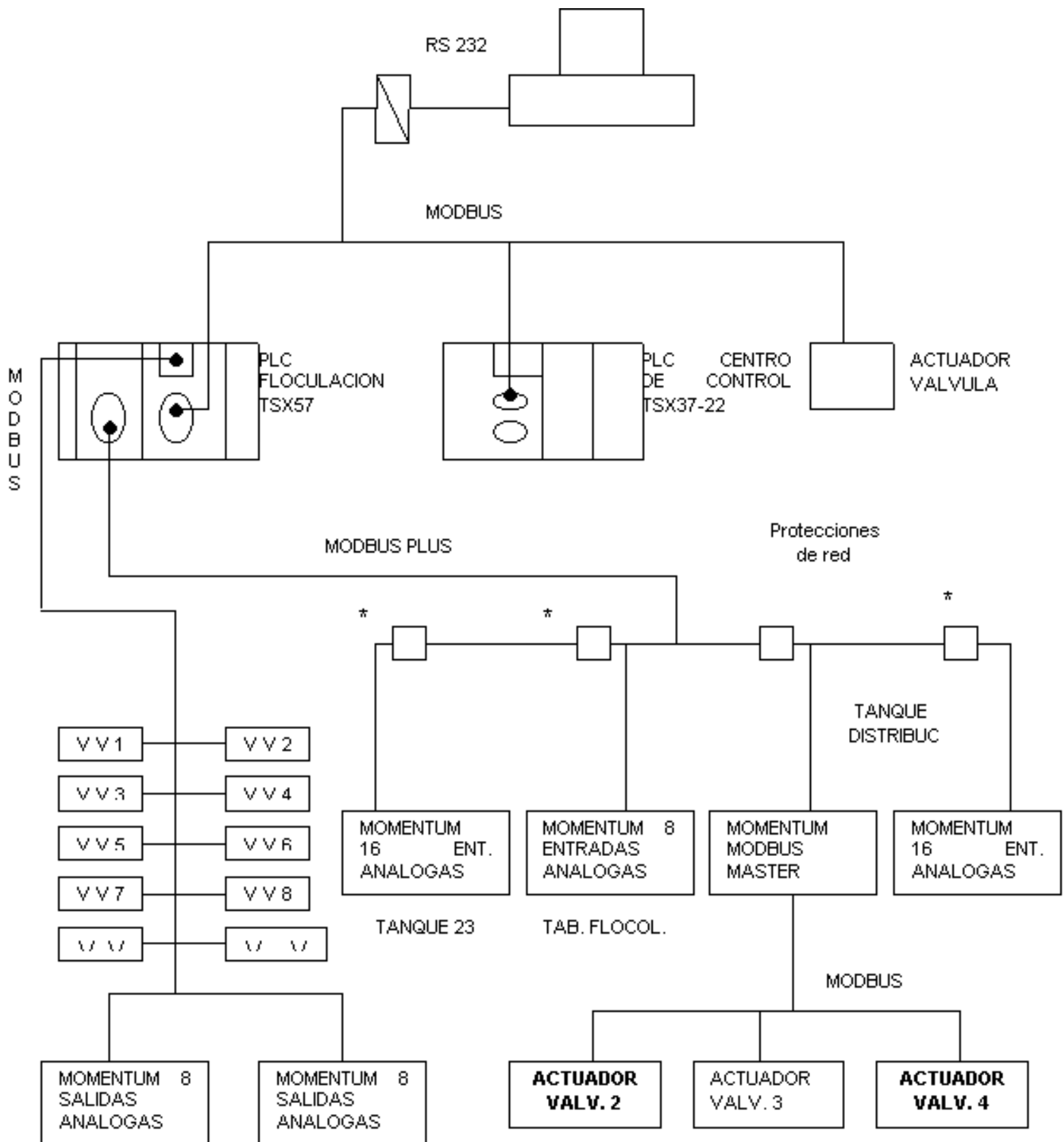
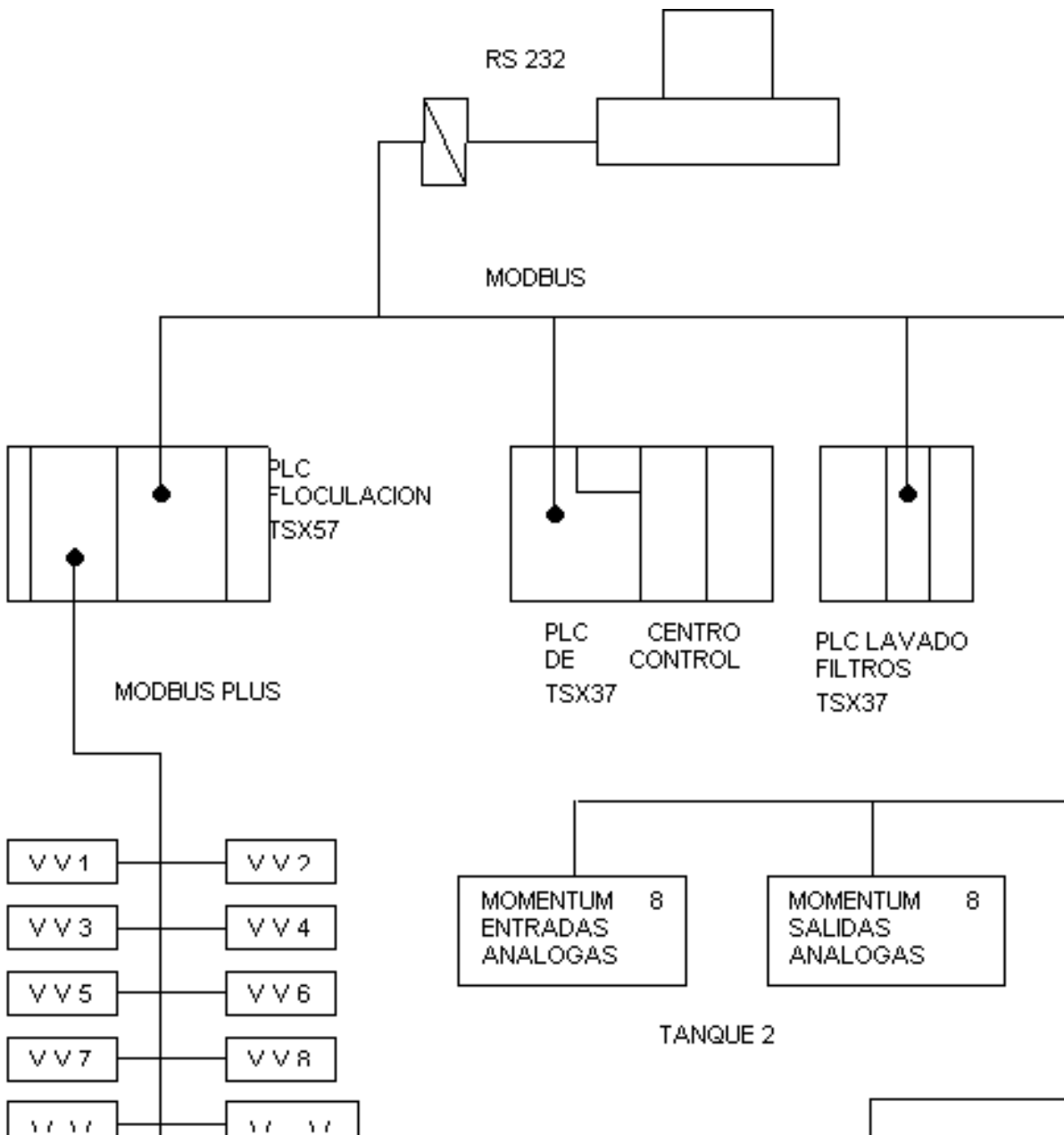


Figura 12. Arquitectura sugerida para la Planta Niza

En esta prueba los dos equipos tuvieron buen desempeño, permitiendo llevar a cabo todas las actividades planteadas en el protocolo de pruebas, y demostrando gran facilidad de instalación y buenas características de interconectividad e interoperabilidad, pues no fue necesario llevar a cabo ninguna configuración en ellos, simplemente se conectaron y comenzaron a funcionar.



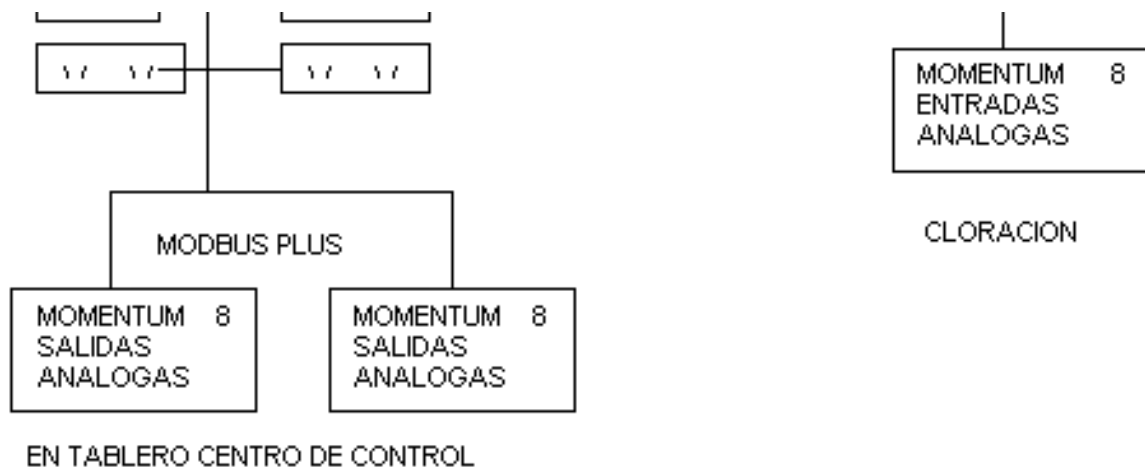


Figura 13. Arquitectura sugerida para la Planta Luis Prieto

Para la segunda parte de las pruebas, entre las dos plantas, se tuvo en cuenta la información obtenida por medio de las visitas de campo y del sistema de información geográfica, según la cual no existe visual directa entre las dos plantas, aspecto que es un fundamental para garantizar el radioenlace entre los dos equipos.

Ante esta situación, se planteo la opción de hacer un enlace a través de un repetidor estratégicamente ubicado de tal forma que se pudieran recoger las señales de las dos plantas y retransmitirlas adecuadamente, la cual es una buena alternativa pero los costos se incrementarían en un 100% o más ya que se requiere el doble de equipos de los necesarios para un enlace punto a punto.

Además, con esta alternativa queda descartado de entrada el primer equipo ensayado, es decir, el radio-modem Datalinc SRM6200E, puesto que según la información suministrada por el proveedor, la potencia de

transmisión aproximada de 1W y el alcance máximo para este equipo de 6 Km, no se ajustan a las necesidades reales del sistema planteado de esta forma.

Entonces se inició una exploración visual desde las dos plantas para determinar el lugar indicado para ubicar este repetidor, y se encontró que el cerro Sancancio posee una ubicación muy buena con respecto a las dos plantas y además posee una infraestructura de comunicaciones apropiada. En la Figura 14 se ilustra como es la ubicación de cada una de las plantas con respecto al cerro Sancancio, cuyas distancias calculadas con las herramientas del SIG son :

- Niza a Sancancio 2010 metros
- Luis Prieto a Sancancio 7435 metros

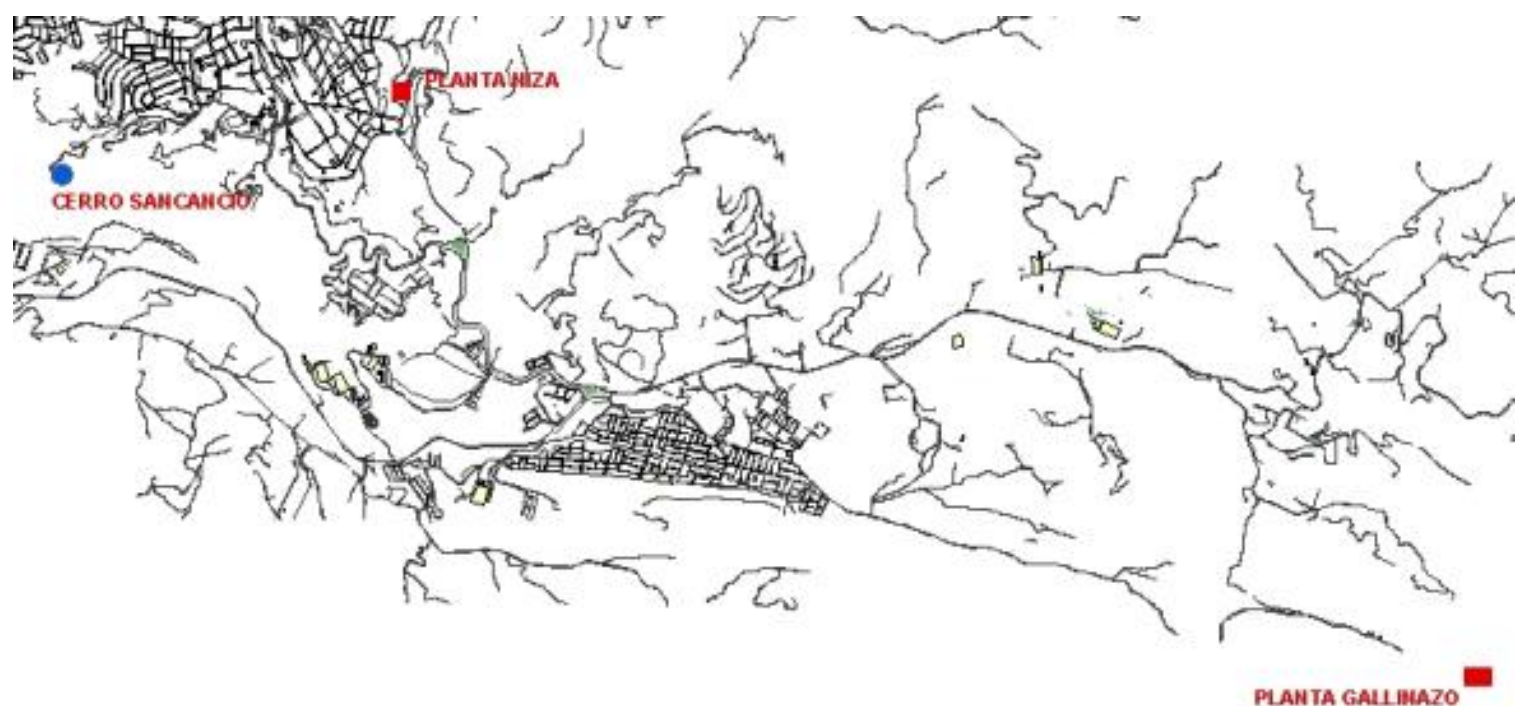


Figura 14. Ubicación de las dos plantas y el cerro Sancancio

En este orden de ideas se propuso la ejecución de una tercera prueba para evaluar las condiciones del enlace a través de este repetidor, la cual consiste en instalar un equipo en el cerro Sancancio y otro en la planta Luis Prieto, establecer el enlace y tomar medidas de potencia y calidad del enlace para posteriormente hacer lo mismo desde la planta Niza.

Una vez definidas las pruebas y conseguidos los permisos del caso, se realizó esta tercera prueba con excelentes resultados, lo cual se comprobó en campo midiendo el nivel de señal recibido en la planta Gallinazo desde el Cerro Sancancio, obteniendo un excelente nivel de -67dBm a una distancia de

aproximadamente 8 Km; y el respectivo nivel de señal para el enlace Niza – Sancancio sobre una distancia de 2 Km es de -60 dBm, aún mejor que el primero.

Dados estos resultados de las pruebas, se pudo determinar que la mejor alternativa desde varios puntos de vista es establecer un enlace activo en el cerro Sancancio, a saber :

- Excelente línea de vista desde las dos plantas hacia el Cerro Sancancio
- Mayor seguridad e integridad de la información, puesto que se reduce el riesgo de penetración de la señal de radio a causa de la vegetación y se garantizan niveles de señal muy buenos.
- Instalación con infraestructura mas sencilla en las plantas de tratamiento.
- Buen respaldo e infraestructura de comunicaciones en el cerro Sancancio.

Como conclusión de todo el análisis que se ha hecho en esta parte del trabajo se tiene la recomendación de utilizar un sistema de comunicaciones inalámbrico vía radio, con equipos que permitan enlazar la LAN corporativa conformando un bridge Ethernet.

Particularmente se recomienda utilizar los radios digitales de marca Western Multiplex referencia Tsunami 10BaseT, puesto que proporcionan buenas características de ancho de banda, velocidad e interconectividad.

5.3 DISEÑO SUGERIDO PARA EL CENTRO DE GESTION Y SUPERVISION

Según las condiciones establecidas para darle flexibilidad y apertura al centro de gestión y supervisión, se propone una arquitectura distribuida en la cual desaparece la figura de un único centro de control y aparece en su lugar el centro de gestión y supervisión bajo un esquema cliente-servidor que permite a los usuarios definidos del sistema el acceso al mismo por medio de la red de datos LAN con los niveles de seguridad adecuados para garantizar la integridad del sistema. Un esquema similar a la arquitectura sugerida se muestra en la Figura 15.

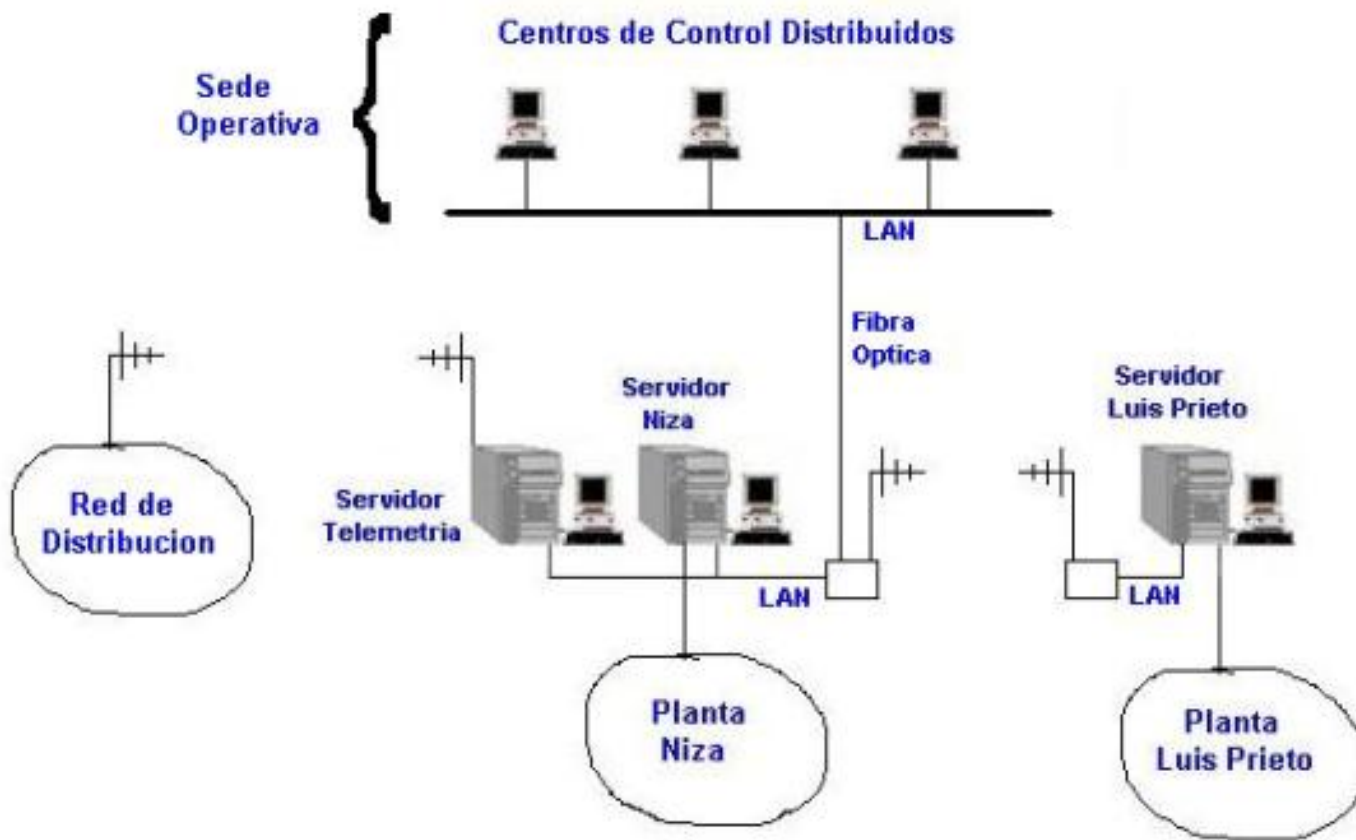


Figura 15. Esquema planteado para el centro de Gestión y Supervisión

Adicionalmente, siendo coherentes con el principio de reducir la vulnerabilidad del sistema, se propone manejar un grupo de servidores especializados en subsistemas específicos e interconectados entre sí por medio de la LAN para compartir su información por este medio. Específicamente se sugiere tener tres servidores en la planta Niza, así:

- Un servidor dedicado al sistema de instrumentación de la planta como tal y a las estaciones meteorológicas e hidrométricas
- Un servidor dedicado al sistema de telemetría de la red de acueducto
- Un servidor dedicado al circuito cerrado de televisión
- Así mismo se debe tener un servidor en la planta Luis Prieto para el manejo de ésta.

Con este esquema se busca independizar los subsistemas e impedir que algún daño en uno de ellos, en sus equipos o comunicaciones afecte todo el centro de gestión y ocasione un bloqueo general.

Por otro lado, para facilitar el proceso de copias de seguridad se sugiere encargar al servidor para el circuito cerrado de televisión de esta función, dado que es el menos crítico de todos y el que mas capacidad de backup requiere dado el tipo y tamaño de la información que maneja.

Para permitir un buen proceso de impresión, teniendo en cuenta la cantidad de información que se puede generar en el centro de gestión y supervisión, y para liberar a los servidores del procesamiento de las impresiones, se sugiere instalar un servidor de impresión por hardware con acceso exclusivo para el centro de gestión y supervisión.

Siendo estos servidores el eje central del centro de gestión y supervisión, debe garantizarse su protección, seguridad, integridad y buen desempeño teniendo en cuenta los siguientes aspectos :

- Los servidores deben tener una plataforma operativa que posea buen manejo de seguridad y acceso restringido. Se sugiere Windows XP.
- Se debe conformar un dominio para la LAN con estos servidores, puesto que esto facilita su administración y el manejo de la seguridad y el acceso remoto.
- Se debe instalar un buen sistema de respaldo de energía (UPS) con todas las protecciones del caso, el cual a su vez este respaldado por la planta eléctrica de emergencia.
- Se debe instalar también un sistema de control de temperatura y humedad relativa en el recinto donde se vayan a instalar los servidores, así como en el centro de gestión para garantizar un ambiente confortable para los operadores del sistema.
- Se deben instalar los servidores en un mueble especial con seguridad que garantice su protección contra agentes externos y que restrinja el acceso a ellos.

Igualmente, el centro de control debe contar con los sistemas de comunicación de voz necesarios para hacer los reportes de alarmas y para responder a las solicitudes hechas por cualquier persona de la organización. Se sugiere un sistema compuesto por dos extensiones de la planta telefónica y un teléfono directo, así como un radio fijo y uno portátil debidamente programados con las frecuencias de la compañía.

Adicionalmente, todos los servidores deben tener acceso al sistema de correo interno de la compañía, para poder enviar automáticamente los reportes generados por el sistema según lo establecido con cada uno de los usuarios interesados en esta información. Así mismo, los operadores del centro de gestión deben tener la posibilidad de consultar su correo y de enviar mensajes con las restricciones del caso.

Previendo situaciones en las cuales se deba reunir un número considerable de personas para hacer análisis de la información, para coordinar la operación del sistema en situaciones de emergencia o simplemente para demostraciones o capacitaciones; se propone la adecuación de un área especial del centro de gestión con equipos audiovisuales de proyección para atender este tipo de situaciones.

Considerando que en el sistema de instrumentación de las plantas de tratamiento se acoja la sugerencia de reemplazar el SCADA que se utiliza actualmente por un sistema desarrollado con el software PEGASYS, sería muy sencillo enlazar los sistemas de instrumentación, puesto que todos estarían trabajando bajo la misma

plataforma de software, así que de nuevo se recomienda hacer este cambio.

Debido al rápido avance de la tecnología y a los continuos desarrollos en el hardware para la informática, que hacen parecer a un equipo recién adquirido algo obsoleto tras la aparición de otros mejores, no se sugieren especificaciones precisas sobre la configuración de hardware para los servidores del sistema; sino que se recomienda que en el momento de hacer la inversión, se consigan servidores de gama media, ya que presentan una buena relación costo-beneficio para la aplicación que se está proponiendo.

6 CONCLUSIONES

Se realizó el rediseño del sistema de instrumentación para las plantas de tratamiento, entregando como resultado una buena alternativa que fue seleccionada y probada gracias a las pruebas que se hicieron con los equipos sugeridos. Esta alternativa fue presentada en la empresa y se tomó la decisión de implementarla; y actualmente está en proceso de puesta en funcionamiento en la Planta Niza, e implementación en la Planta Luis Prieto.

Se diseñó un adecuado enlace de comunicaciones entre las dos plantas, definiendo el medio de transmisión, los equipos y su ubicación. Igualmente se probó el sistema sugerido por medio de las pruebas realizadas y se planteó esta solución en la compañía, donde se están buscando los recursos para su ejecución.

Se diseñó parte del “centro de gestión y supervisión” de tal manera que se pudieran integrar los sistemas actuales de instrumentación de la empresa. Como resultado se entregan sugerencias de equipos y software a utilizar, los cuales deben ser evaluados y dimensionados de nuevo al momento de su adquisición, puesto que se ve como un proyecto a largo plazo.

Los resultados que se obtuvieron luego del análisis a lo largo del trabajo, son claros y cumplen con los objetivos planteados, puesto que definen las configuraciones o arquitecturas y el tipo de equipos a utilizar en cada uno de los sistemas que se analizaron.

BIBLIOGRAFIA

AWWA Research Foundation. Instrumentation and computer integration of water utility operations. AWWA Research Foundation, Denver, 1993.

Tomasi, Wayne. Sistemas de comunicaciones electrónicas. Segunda Edición. Prentice Hall, Mexico, 1996.

Belove, C. Enciclopedia de la electrónica, Ingeniería y Técnica. Oceano/Centrum, España.

Tsunami, Ethernet bridge spread spectrum radios, Installation and maintenance manual. Western Multiplex, November 2000

SRM6200E, Spread spectrum/Frecuency hopping ethernet radio modem. User's Guide

3800 MiniRTU, Smart transducer interface. Installation and operation manual. Power Measurement.

ANEXO 1. LISTA DE SEÑALES EN LAS PLANTAS

DESCRIPCION DE SEÑALES PLANTA NIZA # CABLE	PLANTA NIZA		DESCRIPCION	SIMBOLO	RANGO	MEDIDA	ALARMAS	
	POSICION BORNERA	NUMERO SEÑAL					MAX	MIN
1	1	1	caudal entrada agua cruda	NIEAQECRUDA	0	600L/s.	600	100
2	2	2	caudal salida agua tratada	NIEAQSTRATADA	0	600L/s.	600	100
3	3	3	turbiedad tratada	NIEATTRATADA	0	5NTU	5	
4	4	4	cloro tratada	NIEACLTRATADA	0	2mg/L.	0.8	0
5	5	5	pH tratada	NIEAPHTRATADA	0	14U	7.6	6.4
6	6	6	nivel filtro 1	NIEANFILTRO1	0	0.32mts	0.3	0
7	7	7	nivel tanque sulfato liquido	NIEANTANQUESO4	0	5.2mts	5	1
8	8	8	bascula de cloro	NIEAPEBASCULA	0	4000kgrs	3100	625
9	9	9	motogenerador	NIEAGENERADOR	0	1U		
10	10	10	caudal entrada planta	NIEAQEPLANTA	0	600L/s.	600	100
12	11	11	bomba lavado filtros 1 Auto	NIEDBOLAFILTROS1	on	off		
13	12	12	bomba lavado filtros 2 Auto	NIEDBOLAFILTROS2	on	off		
14	13	13	bomba lavado superficial 1 Auto	NIEDBOSUFILTROS1	on	off		
15	14	14	bomba lavado superficial 2 Auto	NIEDBOSUFILTROS2	on	off		
16	15	15	bomba elevacion 1 Auto	NIEDBOELFILTROS1	on	off		
17	16	16	bomba elevacion 2 Auto	NIEDBOELFILTROS2	on	off		
18	17	17	bomba del cloro Auto	NIEDBOCLORO	on	off		
19	18	18	equipo de presion constante Auto	NIEDBOPRECO	on	off		
	19	19	detector de cloro	NIEDDETCLORO	on	off		
12	20	20	bomba lavado filtros 1	NISDBOLAFILTROS1	on	off		
13	21	21	bomba lavado filtros 2	NISDBOLAFILTROS2	on	off		
14	22	22	bomba lavado superficial 1	NISDBOSUFILTROS1	on	off		
15	23	23	bomba lavado superficial 2	NISDBOSUFILTROS2	on	off		
16	24	24	bomba elevacion 1	NISDBOELFILTROS1	on	off		
17	25	25	bomba elevacion 2	NISDBOELFILTROS2	on	off		
18	26	26	bomba del cloro	NISDBOCLORO	on	off		
19	27	27	equipo de presion constante	NISDBOPRECO	on	off		
20	28	28	turbiedad entrada	NIEATTRATADA	0	100NTU	80	
21	29	29	pH entrada	NIEAPHECRUDA	0	14U	8	6.5
22	30	30	turbiedad clarificador 1	NIEATCLARIF1	0	5NTU	5	
23	31	31	pH clarificador 1	NIEAPHCLARIF1	0	14U	7	6.1
24	32	32	turbiedad clarificador 2	NIEATCLARIF2	0	5NTU	5	

Anexo 1. Lista de señales en las plantas

25	33	pH clarificador 2	NIEAPHCLARIF2	0	14U	7	6.1
	34	dosificador sulfato solido	NIEADOSS04SOL	0	100%		
26	35	dosificador sulfato liquido	NISADOSSO4LIQ	0	100%		
27	36	dosificador sulfato solido	NISADOSSO4SOL	0	100%		
28	37	dosificador de cloro 1	NISADOSCLORO1	0	2mg/L	1.5	0.8
	38	dosificador de cloro 2	NISADOSCLORO2	0	2mg/L	1.5	0.8
29	39	nivel tanque 23	NIEANT23	0	4mts	3.85	1.6
30	40	turbiedad tanque 23	NIEATT23	0	5NTU	5	
31	41	cloro tanque 23	NIEACLT23	0	2mg/L.	1.2	0.8
32	42	pH tanque 23	NIEAPHT24	0	14U	7.6	6.4
33	43	caudal salida tubo 8 tanque 23	NIEAQS8T23	0	50L/s.		
34	44	caudal salida tubo 16 tanque 23	NIEAQS16T23	0	260L/s.		
35	45	caudal salida tubo 24 tanque 23	NIEAQS24T23	0	1000L/s.		
36	46	nivel tanque de lavado	NIEANTLAVADO	0	3.25mts	3.2	0
37	47	nivel tanque distribucion	NIEANTDISTRIB	0	3.6mts	3.35	1.6
38	48	turbiedad tanque distribucion	NIEATTDISTRIB	0	5NTU	5	
39	49	cloro tanque distribucion	NIEACLTDISTRIB	0	2mg/L.	1.2	0.8
40	50	pH tanque distribucion	NIEAPHTDISTRIB	0	14U	7.6	6.4
41	51	caudal salida tubo 14 tanque distribucion	NIEAQS14TDISTRIB	0250	L/s.	250	50
42	52	caudal salida tubo 18 tanque distribucion	NIEAQS18TDISTRIB	0300	L/s.	300	70
43	53	caudal salida tubo 24 tanque distribucion	NIEAQS24TDISTRIB	01000	L/s.	500	0
44	54	caudal entrada tubo 18 luis prieto	NIEAQE18LUIISP	0300	L/s.	300	0
45	55	caudal entrada tubo 28 luis prieto	NIEAQE28LUIISP	01000	L/s.	500	250
	56	caudal circuito alta suiza	NIEAQCASUIZA	0100	L/s.	80	10
	57	caudal circuito matadero	NIEAQCMATADERO	0100	L/s.	80	10

PLANTA LUIS PRIETO

NUMERO SEÑAL	DESCRIPCION	SIMBOLO	RANGO	MEDIDA	ALARMAS	
					MAX	MIN
1	caudal entrada Cajones	L1EAQECAJONES	0	600L/s.	600	200
2	caudal entrada Chinchina	L2EAQECHINCHI	0	1000L/s.	1000	200
3	caudal entrada Romerales	L1EAQEROMERAL	0	415L/s.	415	120
4	caudal Termal planta 1	L1EAQETERMAL	0	6L/s.	6	0
5	caudal Termal planta 2	L2EAQETERMAL	0	6L/s.	6	0
6	pH Termal	LPEAPHTERMAL	0	14U	2	1
7	temperatura Termal	LPEATEMTERMAL	0	60g C	50	25
8	turbiedad Termal	LPEATTERMAL	0	5NTU	2	

Anexo 1. Lista de señales en las plantas

9	caudal entrada planta 1	L1EAQEPLANTA	0	1000L/s.	500	250
10	caudal entrada planta 2	L2EAQEPLANTA	0	800L/s.	500	250
11	turbiedad entrada planta 1	L1EATEPLANTA	0	100ntu	80	
12	turbiedad entrada planta 2	L2EATEPLANTA	0	100ntu	80	
13	pH entrada planta 1	L1EAPHEPLANTA	0	14U	8.5	6.5
14	pH entrada planta 2	L2EAPHEPLANTA	0	14U	8.5	6.5
15	dosificador Cal planta 1	L1SADOSCAL	0	100%		
16	dosificador Cal planta 2	L2SADOSCAL	0	100%		
17	dosificador Sulfato planta 1	L1SADOSSO4	0	100%		
18	dosificador Sulfato planta 2	L1SADOSSO5	0	100%		
19	válvula Termal planta 1	L1SAVALTERMAL	0	100%		
20	válvula Termal planta 2	L2SAVALTERMAL	0	100%		
21	valvula 1 desarenador 1	L1SDVAL1DES1	on	off		
22	valvula 2 desarenador 1	L1SDVAL2DES1	on	off		
23	valvula 3 desarenador 1	L1SDVAL3DES1	on	off		
24	bomba muestreo planta 1	L1SDBOMMUES	on	off		
25	bomba muestreo planta 2	L2SDBOMMUES	on	off		
26	nivel Filtro 1	L1EANFILTRO1	00.38	mts	0.38	0
27	turbiedad Filtro 1	L1EATFILTRO1	05	ntu	1.5	
28	nivel Filtro 2	L1EANFILTRO2	00.38	mts	0.38	0
29	turbiedad Filtro 2	L1EATFILTRO2	05	ntu	1.5	
30	nivel Filtro 3	L1EANFILTRO3	00.38	mts	0.38	0
31	turbiedad Filtro 3	L1EATFILTRO3	05	ntu	1.5	
32	nivel Filtro 4	L1EANFILTRO4	00.38	mts	0.38	0
33	turbiedad Filtro 4	L1EATFILTRO4	05	ntu	1.5	
34	nivel Filtro 5	L1EANFILTRO5	00.38	mts	0.38	0
35	turbiedad Filtro 5	L1EATFILTRO5	05	ntu	1.5	
36	nivel Filtro 6	L1EANFILTRO6	00.38	mts	0.38	0
37	turbiedad Filtro 6	L1EATFILTRO6	05	ntu	1.5	
38	nivel Filtro 7	L1EANFILTRO7	00.38	mts	0.38	0
39	turbiedad Filtro 7	L1EATFILTRO7	05	ntu	1.5	
40	caudal Lavado filtros planta 1	L1EAQLAVFILTROS	0	350L/s.	350	180
41	nivel tanque 1	LPEANTANQUE1	03.0	mts	2.8	1.5
42	turbiedad Tanque 1	LPEATTANQUE1	0	5ntu	1	
43	cloroTanque 1	LPEACLTANQUE1	0	2mg/L.	2	1
44	pH Tanque 1	LPEAPHTANQUE1	0	14U	8.5	6.4
45	turbiedad clarificador 1 planta 1	L1EATCLARIF1	0	5ntu	1	
46	turbiedad clarificador 2 planta 1	L1EATCLARIF2	0	5ntu	1	
47	turbiedad sedimentador 1 planta 2	L2EATSEDIM1	0	2ntu	1	

48	turbiedad sedimentador 2 planta 2	L2EATSEDIM2	0	2ntu	1
49	turbiedad sedimentador 3 planta 2	L2EATSEDIM3	0	2ntu	1
50	valvula solenoide agua filtrada 1	L1SDVSOLFILTR1	on	off	
51	valvula solenoide agua procedente 1	L1SDVSOLPROC1	on	off	
52	valvula solenoide aire retrolavado 1	L1SDVSOLAIRE1	on	off	
53	valvula solenoide agua lavado 1	L1SDVSOLLAVA1	on	off	
54	valvula solenoide agua filtrada 2	L1SDVSOLFILTR2	on	off	
55	valvula solenoide agua procedente 2	L1SDVSOLPROC2	on	off	
56	valvula solenoide aire retrolavado 2	L1SDVSOLAIRE2	on	off	
57	valvula solenoide agua lavado 2	L1SDVSOLLAVA2	on	off	
58	valvula solenoide agua filtrada 3	L1SDVSOLFILTR3	on	off	
59	valvula solenoide agua procedente 3	L1SDVSOLPROC3	on	off	
60	valvula solenoide aire retrolavado 3	L1SDVSOLAIRE3	on	off	
61	valvula solenoide agua lavado 3	L1SDVSOLLAVA3	on	off	
62	valvula solenoide agua filtrada 4	L1SDVSOLFILTR4	on	off	
63	valvula solenoide agua procedente 4	L1SDVSOLPROC4	on	off	
64	valvula solenoide aire retrolavado 4	L1SDVSOLAIRE4	on	off	
65	valvula solenoide agua lavado 4	L1SDVSOLLAVA4	on	off	
66	valvula solenoide agua filtrada 5	L1SDVSOLFILTR5	on	off	
67	valvula solenoide agua procedente 5	L1SDVSOLPROC5	on	off	
68	valvula solenoide aire retrolavado 5	L1SDVSOLAIRE5	on	off	
69	valvula solenoide agua lavado 5	L1SDVSOLLAVA5	on	off	
70	valvula solenoide agua filtrada 6	L1SDVSOLFILTR6	on	off	
71	valvula solenoide agua procedente 6	L1SDVSOLPROC6	on	off	
72	valvula solenoide aire retrolavado 6	L1SDVSOLAIRE6	on	off	
73	valvula solenoide agua lavado 6	L1SDVSOLLAVA6	on	off	
74	valvula solenoide agua filtrada 7	L1SDVSOLFILTR7	on	off	
75	valvula solenoide agua procedente 7	L1SDVSOLPROC7	on	off	
76	valvula solenoide aire retrolavado 7	L1SDVSOLAIRE7	on	off	

77	valvula solenoide agua lavado 7	L1SDVSOLLAVA7	on	off			
78	compresor 1 lavado filtros	LPSDCOMPRES1	on	off			
79	compresor 2 lavado filtros	LPSDCOMPRES2	on	off			
80	bomba 1 lavado filtros	LPSDBOMBA1	on	off			
81	bomba 2 lavado filtros	LPSDBOMBA2	on	off			
82	caudal salida Planta 2	L2EAQSPLANTA	0	800L/s.	500	100	
83	turbiedad filtrada Planta 2	L2EATFILTRADA	0	5ntu	1		
84	pH filtrada Planta 2	L2EAPHFILTRADA	0	14U	7.5	6.2	
85	nivel Filtro 8 planta 2	L2EANFILTRO8	0	1.52 mts	1.52	0	
86	bascula cilindros cloro	LPEAPEBASCULA	0	4000kilos	3100	625	
87	detector cloro dosificadores	LPEADECLOROSALA	0	2mg/L.	2	0.5	
88	detector cloro sala cilindros	LPEADECLOROCILI	0	2mg/L.	2	0.5	
89	nivel tanque 2	LPEANTANQUE2	0	4.2mts			
90	turbiedad Tanque 2	LPEATTANQUE2	0	5ntu			
91	cloroTanque 2	LPEACLTANQUE2	0	2mg/L.			
92	pH Tanque 2	LPEAPHTANQUE2	0	14U			
93	caudal salida Tubo 28	LPEAQSTUBO28	0	1000L/s.	650	300	
94	caudal salida Tubo 30	LPEAQSTUBO30	0	1000L/s.	400	50	
95	valvula 1 tanque 2	LPSAVAL1TANQUE2	0	100%			
96	valvula 2 tanque 2	LPSAVAL1TANQUE2	0	100%			
97	valvula 3 tanque 2	LPSAVAL1TANQUE2	0	100%			
98	valvula 4 tanque 2	LPSAVAL1TANQUE2	0	100%			
99	valvula 5 tanque 2	LPSAVAL1TANQUE2	0	100%			
100	valvula 6 tanque 2	LPSAVAL1TANQUE2	0	100%			
101	valvula 7 tanque 2	LPSAVAL1TANQUE2	0	100%			

Anexo 2. Lista de señales por grupos

ANEXO 2. AGRUPACION SUGERIDA DE SEÑALES

PLANTA NIZA

Grupo 1. Sala de Operadores

Entradas Análogas

caudal entrada agua cruda

caudal salida agua tratada

turbiedad tratada

cloro tratada

pH tratada

nivel filtro 1

nivel tanque sulfato liquido

bascula de cloro

detector de cloro

motogenerador

caudal entrada desarenador

Total Entradas Análogas

Salidas Análogas

Total Salidas Análogas

Entradas Digitales

op. manual bomba lavado filtros 1

op. manual bomba lavado filtros 2

op. manual bomba lavado superficial 1

op. manual bomba lavado superficial 2

op. manual bomba elevacion 1

op. manual bomba elevacion 2

op. manual bomba del cloro

op. manual equipo de presion constante

11 Total Entradas Digitales

8

Salidas Digitales

bomba lavado filtros 1

bomba lavado filtros 2

bomba lavado superficial 1

bomba lavado superficial 2

bomba elevacion 1

bomba elevacion 2

bomba del cloro

equipo de presion constante

0 Total Salidas Digitales

8

Grupo 2. Floculación

Entradas Análogas

turbiedad entrada

pH entrada

turbiedad clarificador 1

pH clarificador 1

turbiedad clarificador 2

pH clarificador 2

Total Entradas Análogas

Salidas Análogas

dosificador sulfato liquido

dosificador sulfato solido

Entradas Digitales

6 Total Entradas Digitales

0

Salidas Digitales

dosificador de cloro		
Total Salidas Análogas	3	Total Salidas Digitales 0
Grupo 3. Tanque 23		
Entradas Análogas		Entradas Digitales
nivel tanque 23		
turbiedad tanque 23		
cloro tanque 23		
pH tanque 23		
caudal salida tubo 8 tanque 23		
caudal salida tubo 16 tanque 23		
caudal salida tubo 24 tanque 23		
nivel tanque de lavado		
Total Entradas Análogas	8	Total Entradas Digitales 0
Salidas Análogas		Salidas Digitales
Total Salidas Análogas	0	Total Salidas Digitales 0
Grupo 4. Tanque Distribución		
Entradas Análogas		Entradas Digitales
nivel tanque distribucion		
turbiedad tanque distribucion		
cloro tanque distribucion		
pH tanque distribucion		
caudal salida tubo 14 tanque distribucion		
caudal salida tubo 18 tanque distribucion		
caudal salida tubo 24 tanque distribucion		
caudal entrada tubo 18 luis prieto		
caudal entrada tubo 28 luis prieto		
Total Entradas Análogas	9	Total Entradas Digitales 0
Salidas Análogas		Salidas Digitales
Total Salidas Análogas	0	Total Salidas Digitales 0
PLANTA LUIS PRIETO		
Grupo 1. Sala de Operadores		
Entradas Análogas		Entradas Digitales
caudal entrada Cajones		op. manual valvula 1 desarenador 1
caudal entrada Chinchina		op. manual valvula 2 desarenador 1
caudal entrada Romerales		op. manual valvula 3 desarenador 1

caudal Termal planta 1	op. manual bomba muestreo planta 1	
caudal Termal planta 2	op. manual bomba muestreo planta 2	
pH Termal		
temperatura Termal		
turbiedad Termal		
caudal entrada planta 1		
caudal entrada planta 2		
turbiedad entrada planta 1		
turbiedad entrada planta 2		
pH entrada planta 1		
pH entrada planta 2		
Total Entradas Análogas	14	Total Entradas Digitales
Salidas Análogas		Salidas Digitales
dosificador Cal planta 1	valvula 1 desarenador 1	
dosificador Cal planta 2	valvula 2 desarenador 1	
dosificador Sulfato planta 1	valvula 3 desarenador 1	
dosificador Sulfato planta 2	bomba muestreo planta 1	
válvula Termal planta 1	bomba muestreo planta 2	
válvula Termal planta 2		
Total Salidas Análogas	6	Total Salidas Digitales
		5
		5
Grupo 2. Sala de Filtros Planta 1		
Entradas Análogas	Entradas Digitales	
nivel Filtro 1	op. manual valvula solenoide agua filtrada 1	
turbiedad Filtro 1	op. manual valvula solenoide agua procedente 1	
nivel Filtro 2	op. manual valvula solenoide aire retrolavado 1	
turbiedad Filtro 2	op. manual valvula solenoide agua lavado 1	
nivel Filtro 3	op. manual valvula solenoide agua filtrada 2	
turbiedad Filtro 3	op. manual valvula solenoide agua procedente 2	
nivel Filtro 4	op. manual valvula solenoide aire retrolavado 2	
turbiedad Filtro 4	op. manual valvula solenoide agua lavado 2	
nivel Filtro 5	op. manual valvula solenoide agua filtrada 3	
turbiedad Filtro 5	op. manual valvula solenoide agua procedente 3	
nivel Filtro 6	op. manual valvula solenoide aire retrolavado 3	
turbiedad Filtro 6	op. manual valvula solenoide agua lavado 3	
nivel Filtro 7	op. manual valvula solenoide agua filtrada 4	
turbiedad Filtro 7	op. manual valvula solenoide agua procedente 4	
caudal Lavado filtros planta 1	op. manual valvula solenoide aire retrolavado 4	
nivel tanque 1	op. manual valvula solenoide agua lavado 4	
turbiedad Tanque 1	op. manual valvula solenoide agua filtrada 5	
cloroTanque 1	op. manual valvula solenoide agua procedente 5	
pH Tanque 1	op. manual valvula solenoide aire retrolavado 5	
turbiedad clarificador 1 planta 1	op. manual valvula solenoide agua lavado 5	

turbiedad clarificador 2 planta 1
 turbiedad sedimentador 1 planta 2
 turbiedad sedimentador 2 planta 2
 turbiedad sedimentador 3 planta 2

op. manual valvula solenoide agua filtrada 6
 op. manual valvula solenoide agua procedente 6
 op. manual valvula solenoide aire retrolavado 6
 op. manual valvula solenoide agua lavado 6
 op. manual valvula solenoide agua filtrada 7
 op. manual valvula solenoide agua procedente 7
 op. manual valvula solenoide aire retrolavado 7
 op. manual valvula solenoide agua lavado 7
 op. manual compresor 1 lavado filtros
 op. manual compresor 2 lavado filtros
 op. manual bomba 1 lavado filtros
 op. manual bomba 2 lavado filtros

Total Entradas Análogas
 Salidas Análogas

24 Total Entradas Digitales

32

Salidas Digitales
 valvula solenoide agua filtrada 1
 valvula solenoide agua procedente 1
 valvula solenoide aire retrolavado 1
 valvula solenoide agua lavado 1
 valvula solenoide agua filtrada 2
 valvula solenoide agua procedente 2
 valvula solenoide aire retrolavado 2
 valvula solenoide agua lavado 2
 valvula solenoide agua filtrada 3
 valvula solenoide agua procedente 3
 valvula solenoide aire retrolavado 3
 valvula solenoide agua lavado 3
 valvula solenoide agua filtrada 4
 valvula solenoide agua procedente 4
 valvula solenoide aire retrolavado 4
 valvula solenoide agua lavado 4
 valvula solenoide agua filtrada 5
 valvula solenoide agua procedente 5
 valvula solenoide aire retrolavado 5
 valvula solenoide agua lavado 5
 valvula solenoide agua filtrada 6
 valvula solenoide agua procedente 6
 valvula solenoide aire retrolavado 6
 valvula solenoide agua lavado 6
 valvula solenoide agua filtrada 7
 valvula solenoide agua procedente 7
 valvula solenoide aire retrolavado 7
 valvula solenoide agua lavado 7
 compresor 1 lavado filtros

	compresor 2 lavado filtros	
	bomba 1 lavado filtros	
	bomba 2 lavado filtros	
Total Salidas Análogas	0Total Salidas Digitales	32
Grupo 3. Sala de Cloracion		
Entradas Análogas	Entradas Digitales	
caudal salida Planta 2		
turbiedad filtrada Planta 2		
pH filtrada Planta 2		
nivel Filtro 8 planta 2		
bascula cilindros cloro		
detector cloro dosificadores		
detector cloro sala cilindros		
Total Entradas Análogas	7Total Entradas Digitales	0
Salidas Análogas	Salidas Digitales	
Total Salidas Análogas	0Total Salidas Digitales	0
Grupo 4. Tanque 2		
Entradas Análogas	Entradas Digitales	
nivel tanque 2		
turbiedad Tanque 2		
cloroTanque 2		
pH Tanque 2		
caudal salida Tubo 28		
caudal salida Tubo 30		
Total Entradas Análogas	6Total Entradas Digitales	0
Salidas Análogas	Salidas Digitales	
valvula 1 tanque 2		
valvula 2 tanque 2		
valvula 3 tanque 2		
valvula 4 tanque 2		
valvula 5 tanque 2		
valvula 6 tanque 2		
valvula 7 tanque 2		
Total Salidas Análogas	7Total Salidas Digitales	0