



**Universidad de Mendoza**

**Facultad de Ingeniería**

**Tesis de Maestría en Teleinformática**

**“OPTIMIZACIÓN Y FLEXIBILIDAD  
DE SISTEMAS SCADA”**

**Lic. Adrián Horacio Pavesi**

Director de Tesis:  
Magister Ing. Diego Fernando Navarro

2012

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecerle especialmente a Fernanda mi esposa, por acompañarme en la vida otorgándome la libertad de volar con mis pasiones, con todo el trabajo que eso demanda, permitiéndome utilizar nuestro tiempo y el de nuestros hijos Benjamín, Valentina e Ignacio, en mis proyectos personales y profesionales, soportando la tarea cotidiana de sostener el hogar en mis ausencias.

A mi familia, mis padres Aldo y Marta, que desde muy pequeño me orientaron en lo personal y también en lo técnico, llevando a casa cuando apenas tenía 6 años la primera computadora y acompañándome a estudiar ciencias por fuera de la escolaridad publica normal desde tan pequeño.

A mis hermanos Cristian y Aldo, por compartir la pasión de la tecnología y llevar a niveles casi de código nuestras charlas cotidianas.

Especialmente a Diego Navarro, que supo comprender y saber llevar adelante la confección de este trabajo, que con su excelente punto de vista y capacidad técnica intachable, logró encaminarme en volcar los contenidos necesarios para poder desarrollar mi proyecto.

A Jorge García que sin cansancio insistió para que pusiera manos a la obra y reviso detalladamente cada una de las versiones que fui confeccionando, dando un gran aporte en cada una de ellas.

También quiero agradecer a mis compañeros de Sinopec Argentina, en especial al gerente de IT Martin Méndez, por permitirme ingresar en el mundo académico con el escenario que tenemos instalado en campo y por darme la posibilidad de aprender y gestionar sin límites sobre los recursos que disponemos.

## RESUMEN

Las tecnologías de monitoreo industrial han sido perfeccionadas al punto de contar con herramientas que permiten el seguimiento y la optimización de procesos con altas frecuencias de lectura.

También estas tecnologías han permitido maximizar el rendimiento de sistemas complejos y a distancia, pudiendo utilizar salas de control (HMI ó Human Machine Interface) en lugares seguros para profesionales que monitorean y optimizan procesos de campos ubicados en lugares geográficamente alejados y de difícil acceso.

El desarrollo de este trabajo esta realizado sobre un escenario de estas características, son yacimientos petrolíferos que se monitorean desde diferentes salas de control, cuyos datos convergen en la misma red y sobre los mismos servidores. Esto establece una cuota de alta complejidad por tratarse de un gran número de controladores, protocolos y sistemas conviviendo dentro de los mismos servidores y redes, este complicado sistema tiene como función principal optimizar recursos técnicos y humanos.

El objetivo central del trabajo es lograr FLEXIBILIDAD en el sistema de control, es decir que se puedan adaptar las rutas de trafico a las condiciones del entorno, y que se puedan tomar como válidos solo aquellos nodos que posean un buen estado en su vínculo de comunicaciones, utilizando protocolos estándares para mantener la integridad de los remotos que son consultados por el sistema de monitoreo.

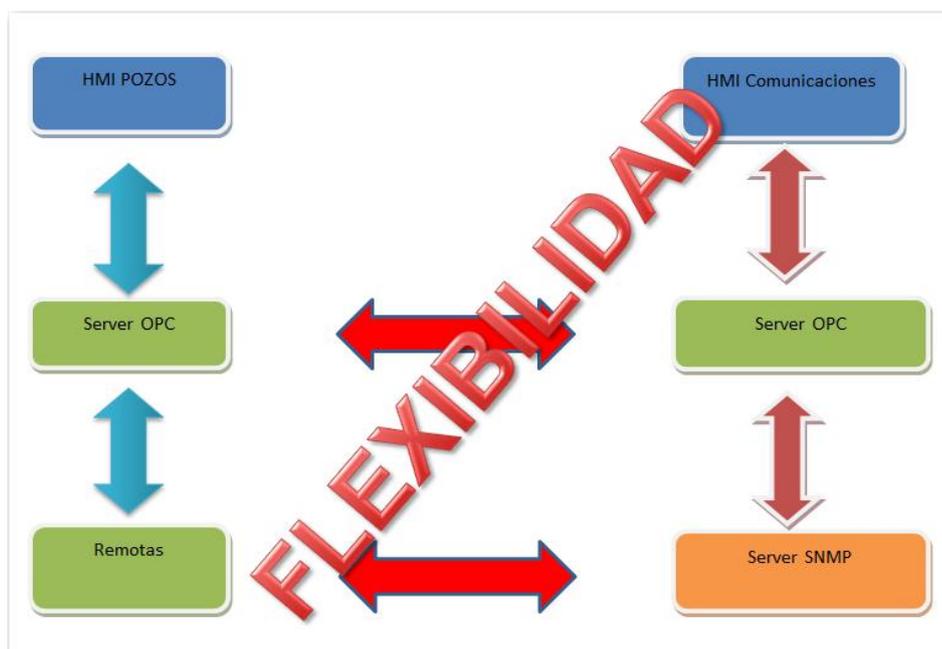


Figura 1: Esquema descriptivo del Proyecto

## INDICE

AGRADECIMIENTOS .....	2
RESUMEN .....	3
I CONCEPTOS DE SCADA .....	6
I.I ARQUITECTURA DE UN SISTEMA SCADA .....	6
I.II DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA EL NIVEL 1: .....	7
I.III DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA EL NIVEL 2 .....	9
I.IV DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA EL NIVEL 3 .....	11
I.V DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA EL NIVEL 4: .....	12
I.VI MODULO DE CONTROL DE COMUNICACIONES.....	13
I.VII SISTEMAS DE CÓMPUTO EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES.....	14
I.VIII TECNOLOGÍA INSTALADA .....	15
I.IX SOLUCIÓN PROPUESTA.....	17
II AMBIENTE DE APLICACION .....	19
II.I HISTORIA DEL PROBLEMA EN LA EMPRESA .....	19
II.II MODELO DE SCADA ICONICS OPC .....	19
II.III ADMINISTRACION DE LOS REMOTOS CONSULTADOS.....	24
II.IV APLICACIONES DE CONTROL DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO MECÁNICO	35
III. OBJETIVOS DEL DESARROLLO .....	39
III.I PREMISAS Y RESTRICCIONES DEL ESCENARIO TÉCNICO.....	39
IV. EQUIPAMIENTO Y SOFTWARE UTILIZADOS .....	41
V. OPTIMIZACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE RED INSTALADA .....	45
V.I MEJORAS DE INFRAESTRUCTURA.....	45
V.II PROGRAMACIÓN DE LAS RUTAS DE SWITCHEO .....	46
V.III SISTEMA DE CONTROL DE LA RED ELÉCTRICA.....	51

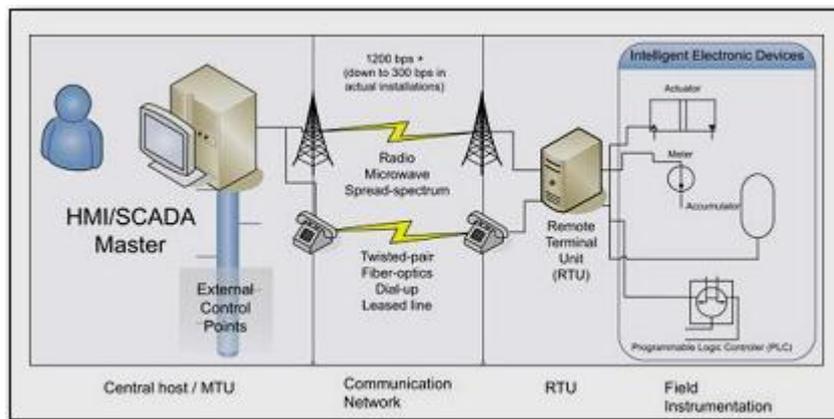
VI. INTEGRIDAD DE REMOTOS CONSULTADOS POR EL SCADA.....	53
VI.I PROTOCOLO SNMP .....	53
VI.II DESCRIPCIÓN LÓGICA DEL SISTEMA .....	56
VII MODELO FINAL DEL SISTEMA .....	58
VII.I MÓDULO DE CONFIGURACIÓN DE SNMP EN ICONICS.....	59
VII.II MÓDULO DATAWORX DE ICONICS .....	59
VII.III USO DEL DESARROLLO DESDE EL ENTORNO DE USUARIO.....	63
VII.IV MÓDULO GRAPHWORX .....	64
VII.V MÓDULO ALARMWORX.....	65
VII.VI MÓDULO DE TRENDWORX .....	67
VIII PRUEBAS DE CAMPO .....	68
VIII.I CONFIGURACIÓN DE HARDWARE Y SOFTWARE .....	68
VIII.II MEDICIONES DE ANCHO DE BANDA .....	76
IX. CONCLUSIONES .....	86

# I CONCEPTOS DE SCADA

## I.I ARQUITECTURA DE UN SISTEMA SCADA

La descripción general del sistema SCADA<sup>1</sup> está compuesta por varias capas que sitúan en un extremo superior la posibilidad de visualización y control de las variables de un proceso por un usuario o un grupo de usuarios (HMI<sup>2</sup>), y por el otro extremo los sensores de campo que originan las variables de este proceso que se controla.

En las capas intermedias puede haber diferencias, pero básicamente son las estructuras de software, hardware y comunicación que se necesitan para que pueda fluir la información del proceso hasta la estación de control técnico.



**Figura 2: Componentes Básicos de un SCADA**

En la Figura 2 podemos observar claramente 4 niveles:

1. Instrumentación de campo: Son los que generan los valores de las variables, por ejemplo termómetros, sensores de presión, medidores de caudal.
2. RTU<sup>3</sup> : Son los dispositivos locales al proceso medido, en este caso los controladores de pozo, ellos reúnen la información originada por los sensores y dan el primer grado de inteligencia. Esta información es remitida a las aplicaciones y puede ser editada desde las capas superiores del sistema. Este nivel origina las alarmas, eventos y puede contener los lazos de control primarios.

<sup>1</sup>Supervisory Control And Data Acquisition

<sup>2</sup> Human Machine Interface

<sup>3</sup> Remote Terminal Unit

3. Red de comunicación: está compuesta por diferentes medios de enlace, generalmente su tipo depende de la distancia que separa la RTU del host, el ancho de banda necesario para el control del proceso, la topología del terreno y otras variables que determinan la solución especial en cada caso.
4. Host Central: es el nodo donde se reúne la información de todas las RTUs del sistema y por lo general es donde los usuarios acceden a la información de campo. Este nivel cuenta con un HMI que permite de manera amigable interpretar los datos de campo y tomar acción si fuera necesario.

(Zhang, 2010)

(Mall, 2009)

En cada una de estas capas conviven diferentes tecnologías electrónicas y de sistemas, que en definitiva permiten que los valores leídos desde el proceso puedan ser adaptados a los medios de comunicación que lo entregan en la pantalla del usuario.

## **I.II DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA EL NIVEL 1:**

El nivel 1 es el elemento electrónico que permite obtener una variable medida que es parte del proceso y transformarla en una señal electrónica equivalente. Existen diferentes tipos de señales:

### **I.II.I Señales analógicas**

Las señales analógicas son aquellas donde la variable medida varía en un rango determinado. Este rango es traducido a niveles de corriente o tensión según sea el instrumento de medición que se utilice, permitiendo establecer una señal de salida que es representativa o equivalente al valor de campo que se está midiendo.

Las señales de control más utilizadas son las de corriente (variando el rango de salida entre 4 y 20 mA<sup>4</sup>) o de tensión (variando el rango de 0 a 5 V<sup>5</sup>). Ejemplos de este tipo de variables son la temperatura, la presión o un nivel de tanque, en la Figura 3 podemos observar ejemplos de estos sensores.

---

<sup>4</sup> Miliamper (unidad de medición de corriente eléctrica)

<sup>5</sup> Volts (unidad de medida de la tensión eléctrica)



Figura 3: Diferentes tipos de sensores analógicos

### I.II.II Señales digitales

Las señales digitales son aquellas donde la variable monitoreada toma valores discretos. En este caso el valor es traducido a un 0 o 1, tomando uno de estos estados dependiendo del valor de campo. Ejemplo de este tipo de variables puede ser el estado de un motor (en marcha o parado), el estado de una baliza (encendida o apagada) o un switch de nivel (alto nivel o bajo nivel).



Figura 4: Diferentes tipos de sensores discretos o digitales

### I.II.III Señales especiales de buses de campo

Este tipo de señales son generadas por instrumentos más modernos, donde se utilizan diferentes códigos en señales de corriente o directamente digitales, teniendo interfaces especiales según el tipo de protocolo de comunicación que utilizan. Esto posibilita que un solo instrumento genere una familia de datos que son transportados hasta el siguiente nivel del SCADA de manera digital, describiendo varias variables del proceso desde el punto de medición donde se encuentran instalados.

Este tipo de sensores generalmente comparte un bus digital y poseen direccionamiento, lo que permite definir un medio de comunicación compartido para los sensores similares dentro de la misma planta. La definición de este tipo de bus depende de la tecnología que se quiera utilizar en la capa siguiente del scada y del tipo de datos generados en el proceso que se quieran obtener. En algunos casos los datos están orientados al mantenimiento de los mismos equipos sensores. Ejemplos de este tipo de variables son generadas por caudalímetros, computadores de flujo, medidores de gas, medidores de corriente, entre otros.



Figura5: Instrumentos con buses de campo inteligentes

## I.III DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA EL NIVEL 2

El nivel 2 es el concentrador de las señales de proceso, que a su vez dota de un primer grado de inteligencia al sistema de medición, pudiendo tener lazos de control local que permiten reaccionar y corregir el comportamiento del proceso medido. Existen diferentes tipos de controladores, según su naturaleza puede ser desarrollada exclusivamente para el control de un determinado proceso o ser genéricos para poder adaptarlos a algún proceso en particular.

### I.III.I Controladores remotos estándares

Son dispositivos que están adaptados al proceso que se mide con programas a medida desarrollado por expertos, este tipo de controladores se denominan Controladores

Lógicos Programables<sup>6</sup>. Estos controladores poseen interfaces que sirven para recolectar los datos obtenidos por los sensores y a su vez realizar tareas lógicas locales. Estos procesos de decisión locales programados en el controlador se denominan “Lazos de control local”. Por lo general estos lazos de control pueden ser manipulados de manera remota, ya que sus parámetros de ajuste, como por ejemplo los máximos y mínimos están disponibles desde el sistema de visualización del usuario (capa 4). Estos autómatas programables son modulares, lo que permite adaptar las cantidades y tipos de canales de entrada y salida de acuerdo a la necesidad del proyecto donde se están instalando. También poseen diferentes protocolos en su interfaz de red, actualmente la mayoría utiliza conexiones Ethernet.



Figura 6: Controlador lógico programable

### I.III.II Controladores remotos de tareas específicas

Son dispositivos cuya arquitectura de entradas, salidas y programas están dedicados especialmente a una tarea en particular. Uno de los ejemplos de este tipo de controladores son los de la figura 7, que forman parte de este proyecto, en este caso están desarrollados específicamente para realizar tareas de monitoreo de pozos petrolíferos productores e inyectoros.

---

<sup>6</sup> Programmer Logic Controllers o PLC



Figura 7: Controladores remotos de tareas específicas

## I.IV DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA EL NIVEL 3

El nivel 3 es la capa de comunicaciones que permite llevar los datos generados en el proceso hasta el lugar físico donde se muestra o analiza la información. Dependiendo principalmente de las distancias entre los dispositivos remotos y el server, el tamaño del flujo de datos y la velocidad que se requiera para medir el proceso, es el medio de comunicación que se utiliza.

### I.IV.I Enlaces de radio

Actualmente predominan los enlaces con interfaces Ethernet, que varían en su velocidad y cantidad de paquetes. En el mercado se utilizan radios que pueden conectarse en distancias que varían desde los pocos metros hasta los 80 kilómetros, permitiendo en algunos casos anchos de banda superiores a los 100 Mbps<sup>7</sup>.



Figura 8: Enlaces inalámbricos

---

<sup>7</sup> Mega Bits por Segundo

## I.VI.II Enlaces de fibra óptica

En los procesos industriales la fibra óptica esta ganando popularidad, ya que existen muchos controladores que ya traen este tipo de conectorizado, pudiendo obtener altas tazas de transferencia de datos a bajos costos. Se utilizan especialmente en las instalaciones de planta, donde el servidor o host se encuentra próximo al proceso medido. La velocidad de transferencia puede superar los 100Mbps.



Figura 9: Switches de fibra óptica

## I.V DIFERENTES TECNOLOGÍAS PARA EL NIVEL 4:

El nivel 4 es el host central, donde convergen los datos de los diferentes procesos y controladores que forman parte del sistema scada. También es el nivel de sistema al que pueden acceder los usuarios para visualizar el proceso, sus valores, alarmas y eventos. Según su naturaleza de desarrollo existen diferentes tipos:

### I.V.I Sistemas abiertos

Son paquetes de software estándar donde se requiere un programador que lo desarrolle de acuerdo a las necesidades de proceso y operativas. Actualmente la mayoría de estos programas poseen la posibilidad del acceso web, módulos de seguridad de usuarios y posibilidad de conexión remota. Ejemplos de estos productos son Iconics Génesis, Factory Link e IFix. En este caso de estudio se implemento Iconics a medida de los procesos que se requerían controlar.



Figura 10: Sistemas de visualización SCADA

## I.V.II Sistemas a medida

Actualmente existen varias empresas dedicadas al control de mercados específicos como el eléctrico, el petróleo, el gas, que desarrollan dispositivos de medición con su correspondiente aplicación a medida, los casos más habituales se dan en los dispositivos de redes eléctricas, siendo ABB o Schneider Electric algunos de los que comercializan aplicaciones a medida.

## I.VI MODULO DE CONTROL DE COMUNICACIONES

Generalmente en la descripción de los modelos de arquitectura de SCADA, existe un componente de control de comunicaciones, en el 4to nivel.

Este es un módulo que está presente permitiendo controlar el estado de los remotos (Zhang, 2010), teniendo un panorama claro del estado general de la red de control, desde el punto de vista de las comunicaciones.

El objeto de desarrollo de esta tesis es ir un paso más adelante en este sentido y establecer el concepto de Flexibilidad en los componentes que son parte del sistema, es decir mantener como parte de los nodos que se pueden acceder desde el scada solo aquellos que posean un buen estado en su vínculo de comunicaciones.

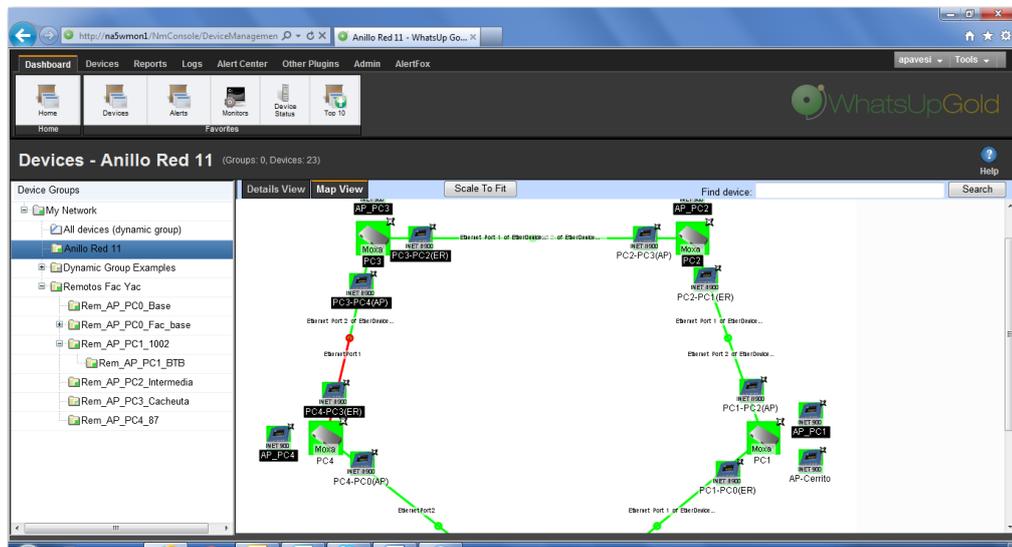


Figura 11: Sistema de monitoreo de comunicaciones

Esto garantiza que los remotos asociados y consultados por los servicios de las aplicaciones son aquellos que verdaderamente pueden ser interrogados por las aplicaciones que forman parte del proceso productivo que se monitorea, evitando utilizar recursos de procesos en aquellos puntos remotos del sistema que no poseen comunicación hasta el scada.

## I.VII SISTEMAS DE CÓMPUTO EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

Desde la década del 80, las computadoras fueron ganando terreno como parte activa de los sistemas de control, integrándose a los sistemas primeramente como controladores de comandos embebidos a los procesos industriales y posteriormente como núcleo de los sistemas de Supervisión y Adquisición de datos (SCADA). Este avance permitió centralizar los procesos de control. (Zhang, 2010)

En los siguientes años, la tecnología de computadoras se perfeccionó a punto tal de permitir el desarrollo de los Sistemas de Tiempo Real (Real Time Operation Systems), lo que permitió el crecimiento de nuevos interfaces de usuarios simples y poderosos.

Este avance, sumado a la integración de tecnologías de comunicaciones, dio lugar al diseño de sistemas de control complejos, cubriendo vastas extensiones geográficas, con

control y apoyo de ingeniería en salas ubicadas en puntos estratégicos, facilitando la operación de sistemas de procesos geográficamente distribuidos.

Uno de los beneficiarios y mentores de estas nuevas tendencias es la industria del petróleo, que por sus características debe incurrir permanentemente en la optimización de los procesos, y también en el máximo aprovechamiento de los recursos humanos, para poder operar de manera eficiente en zonas inhóspitas.

La estabilidad del hardware y el software actual, permiten utilizar sistemas operativos comerciales y recursos tecnológicos comunes al mercado de la industria en procesos complejos, en este trabajo vamos a optimizar estos recursos de cómputo y comunicaciones en pos de conseguir mejor estabilidad y resultados a partir de servidores y sistemas comerciales, pudiendo ampliar el alcance del proyecto a diferentes áreas tecnológicas y aplicaciones industriales, donde se utilicen estaciones remotas y servicios de acceso remoto a los datos de campo.

La naturaleza de proceso continuo que posee la explotación del petróleo y las posibilidades de desarrollo económico que este negocio determina, permiten utilizar tecnologías apropiadas para la optimización operativa de campo, centralizar la toma de decisiones y permitir un máximo aprovechamiento de los recursos humanos y técnicos, pudiendo llevar adelante planes logísticos que maximizan el rendimiento de las operaciones y permiten un acabado conocimiento del “estado del arte” del negocio en tiempo real.

No solo se ven beneficiados los aspectos técnicos y económicos, sino esto también ayuda en el desarrollo sustentable y bajo impacto ambiental, que las entidades gubernamentales requieren para permitir la operación en las concesiones de explotación petrolífera de las provincias.

## **I.VIII TECNOLOGÍA INSTALADA**

La optimización de los sistemas SCADA es una tarea general y debe abarcar diferentes áreas de tecnología, en este caso en particular el sistema optimizado es el de control de pozos, por lo que sus características son un gran número de nodos remotos, grandes extensiones enlazadas y un solo punto de contacto con los servidores que son accedidos por los usuarios técnicos para la optimización del proceso.

Actualmente este sistema está compuesto por:

- 40 repetidoras de comunicaciones para dar cobertura a una superficie de 9600 kilómetros cuadrados.

- 2000 pozos productores e inyectores automatizados y comunicados al SCADA.
- 150 usuarios.
- 2 sistemas de acceso a los datos de campo, Iconics y Lowis.
- Un Centro de cómputos.
- Un equipo técnico de Tecnologías de Información de 6 personas en el sitio.

La complejidad del escenario no solo está dada por los números descriptos anteriormente, sino también porque existe una convivencia tecnológica que aumenta la complejidad.

Dentro del circuito de la información nos podemos encontrar con protocolos y estándares diversos, como por ejemplo:

- Variables analógicas
- Variables discretas
- Lazos de control locales
- Puertos series RS232 y RS485
- Wireless
- Cableado estructurado
- Fibra óptica
- Canales SDH<sup>8</sup>
- Ethernet
- Drivers OPC<sup>9</sup>
- Direccionamiento IP<sup>10</sup>
- Protocolos de switching
- Redes virtuales (Vlans<sup>11</sup>)

---

<sup>8</sup> Synchronous Digital Hierarchy

<sup>9</sup> Ole For Process Control

<sup>10</sup> Internet Protocol

<sup>11</sup> Virtual Local Area Network

## **I.IX SOLUCIÓN PROPUESTA**

Dentro de este panorama, existen muchas posibilidades de mejora y optimización, pero la propuesta es poder utilizar los protocolos estándares como SNMP<sup>12</sup> y OPC, para darle una característica de “Flexibilidad” a la estructura que componen los controladores remotos, que son en definitiva los que entregan la información valiosa al resto de las capas del sistema.

Actualmente, el sistema no reacciona de manera adaptativa a la cantidad de nodos que soporta, esto se refleja cuando existen cortes de comunicación o energía que dan de baja momentáneamente una gran cantidad de nodos.

Aunque el SCADA contempla un módulo de monitoreo de comunicaciones (Zhang, 2010), lo que se busca es que este interactúe con los drivers que listan los nodos disponibles y se encargue de mantener la integridad de las consultas y realizarlas solo a aquellas remotas que se encuentran conectadas y no presentan problemas de comunicación. Esto evitara las colas de espera de las capas que generan los HMI<sup>13</sup> y que actualmente llevan a la pérdida del servicio cuando la falta de comunicación determina una gran cantidad de errores.

---

<sup>12</sup> Simple Network Management Protocol

<sup>13</sup> Human Machine Interface

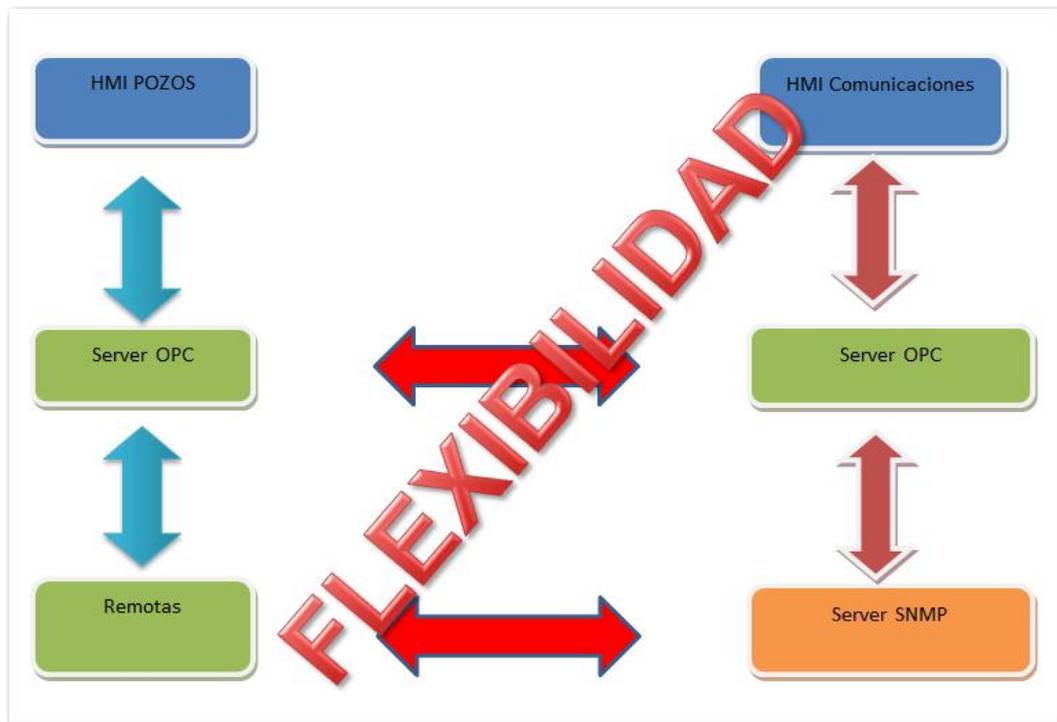


Figura 12: Modelo de solución Propuesta

## **II AMBIENTE DE APLICACION**

### **II.I HISTORIA DEL PROBLEMA EN LA EMPRESA**

Durante el año 2006 la empresa norteamericana Occidental Petroleum, realizó la compra de los activos y áreas petroleras asociadas a la empresa Vintage Oil. El cambio implicó una renovación tecnológica que derivó en varias acciones organizativas para optimizar las tareas técnicas de campo y cambiar la metodología de trabajo de los yacimientos.

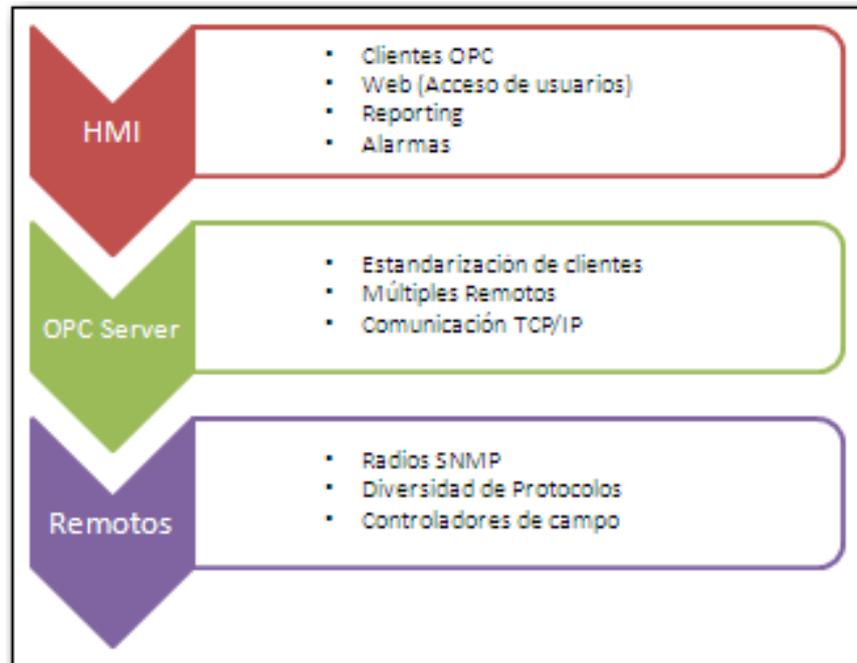
Como parte de este plan de reestructuración e inversiones desde el año 2007 se llevó a cabo un plan para la instalación de la infraestructura necesaria para conectar las oficinas de yacimientos a una red corporativa, realizando un anillo SDH de 100 Mbps como troncal redundante y los cableados estructurados necesarios para poder aplicar las herramientas de oficina que facilitaran el reporting y la toma de decisiones. También se instalaron controladores remotos y sistemas de Control de Supervisión y Adquisición de Datos – SCADA en las principales plantas de tratamiento y baterías de tanques, también se instalaron controladores para los aproximadamente 2000 pozos de la empresa, repartidos en un total de 9 yacimientos en las provincias de Santa Cruz, Chubut y Mendoza.

Los cortes de energía, muy habituales en los yacimientos, hacen que se pierda el contacto con los dispositivos a controlar por problemas de enlace, este factor sumado a la gran cantidad de puntos de control y a los pequeños tiempos de escaneo, lleva finalmente al bloqueo del servidor con la consiguiente caída de la totalidad del sistema. Para la reanudación del mismo se bloquean manualmente aquellas zonas sin energía, debiendo reconectarlas manualmente una vez subsanada la falla.

En la actualidad Occidental Petroleum vendió sus activos y áreas petroleras de Argentina a la empresa estatal China Sinopec International, quien ha continuado administrando y mejorando la totalidad de los sistemas instalados.

### **II.II MODELO DE SCADA ICONICS OPC**

El SCADA instalado en la empresa se corresponde con el modelo de capas teórico, solo que utiliza dentro del host una capa específica de Software adicional que se usa para mantener la compatibilidad de diferentes protocolos y poder acceder a los datos de campo desde un mismo software HMI.



**Figura 13: Capa OPC en el modelo de SCADA**

Esta capa adicional de software es utilizada en la actualidad por muchas empresas proveedoras de tecnologías de campo de nivel 3 para poder lograr estandarización desde el punto de vista de la definición de comunicaciones.

Este nivel de aplicaciones en el host se denomina Ole for Process Control. Es un estándar de comunicación en el campo del control y la supervisión de procesos industriales, que ofrece una interfaz común para que diferentes componentes de hardware y software puedan compartir sus datos e interacciones entre sí. Esto permite que se puedan utilizar diferentes marcas de dispositivos de campo, con diferentes protocolos de comunicaciones, bajo un mismo ambiente de desarrollo, brindando a los usuarios una herramienta HMI unificada, es decir un solo interfaz hombre máquina, para un gran número de dispositivos de campo distintos. (Wikipedia, 2012)

Esta ventaja en definitiva permite conectar diferentes dispositivos de diferentes protocolos de comunicación a un mismo scada, y compartir los ambientes de desarrollo y comunicaciones, tal como se muestra en la figura 14.

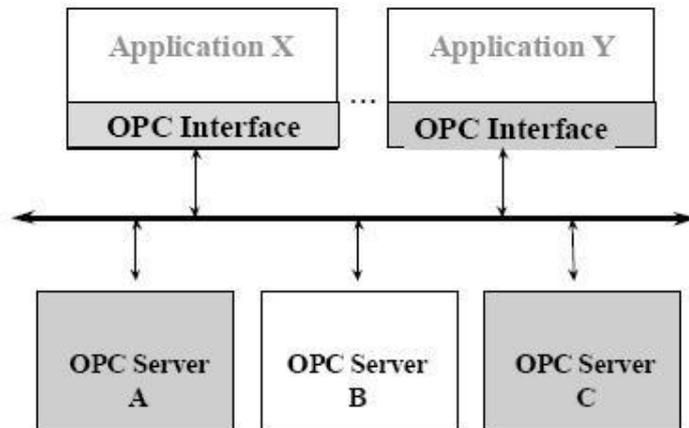


Figura 14: Dispositivos OPC compatibles (Wikipedia, 2012)

Las características del OPC están dadas por la OPC Foundation, organismo internacional que fija las reglas para que los productos tengan compatibilidad hacia las aplicaciones y flexibilidad para poder conectar diferentes protocolos de campo.

La OPC Foundation establece las herramientas de desarrollo de software, estas herramientas o Framework, son utilizadas por todos los fabricantes de electrónicas de campo para dejar disponible una capa de comunicaciones normalizada para los servicios de nivel 4 de los SCADA.

Este sistema define formalmente los componentes de un modelo Cliente-Servidor, donde las aplicaciones o procesos programados por los proveedores de electrónica de campo, y que utilizan las herramientas de la OPC Foundation definen el proceso server y las aplicaciones HMI se comportan como clientes de este servidor colectando los datos disponibles de cada electrónica de campo.

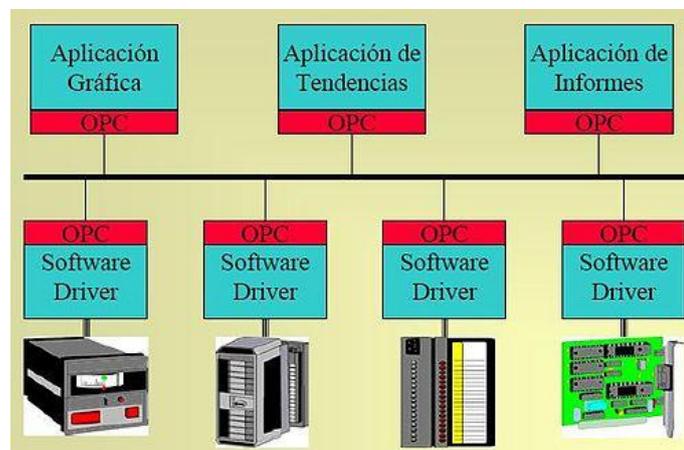


Figura 15: Modelo de trabajo OPC (Wikipedia, 2012)

Cuando el server OPC es instalado, se realiza un direccionamiento de los dispositivos según el protocolo de comunicación utilizado, es decir que a cada dispositivo remoto se le asocia una dirección única y por lo general un nombre que será el cual se invocará para obtener los datos del controlador, para el caso de estudio se utiliza direccionamiento IP, y se conforma un set de datos que representa los valores de las variables medidas, estos datos se denominan OPC Items u OPC TAGS. Gracias a esta organización jerárquica que en una capa superior hace común el acceso a los datos, es posible compartir los recursos y sistemas que son accedidos por los usuarios desde un solo sistema, en este caso la herramienta utilizada para la capa de visualización es el Iconics Génesis, pudiendo representar pantallas de sistemas diversos bajo un ambiente común a todos los usos de campo.

El modelo de capas utiliza un framework o set de herramientas de Visual Basic, que son comunes y entregados por la OPC Foundation.

Este set es comprado por los integrantes de la fundación y se realizan mejoras periódicas, para mantener la compatibilidad con los sistemas operativos.

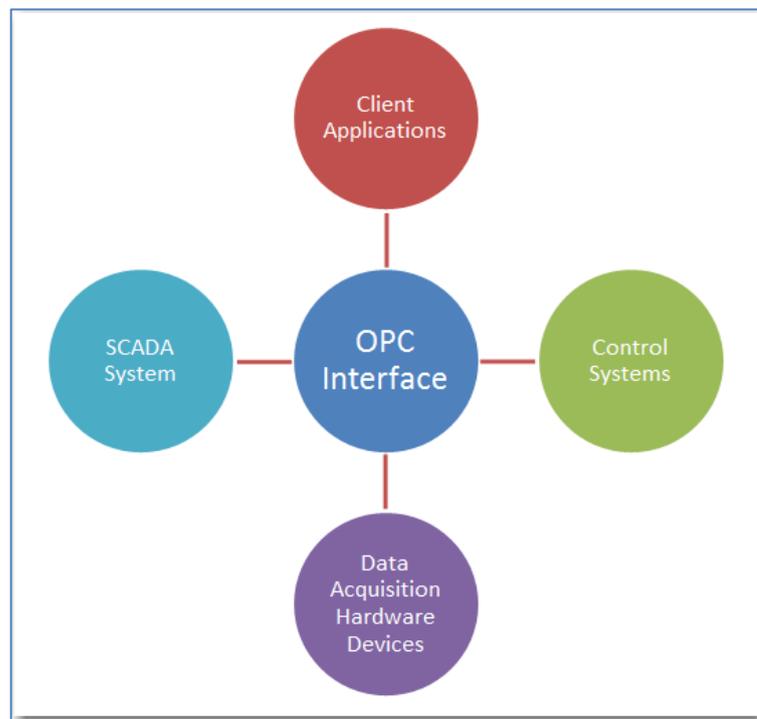


Figura 16: Modelo cliente servidor de aplicaciones OPC

En definitiva el OPC nos permite poder acceder a diferentes tipos de dispositivos independizándonos del protocolo y la capa de comunicaciones que tenga implementado, pudiendo conjugar en un mismo servicio CLIENTE diferentes orígenes de datos, tal como muestra la figura 17.

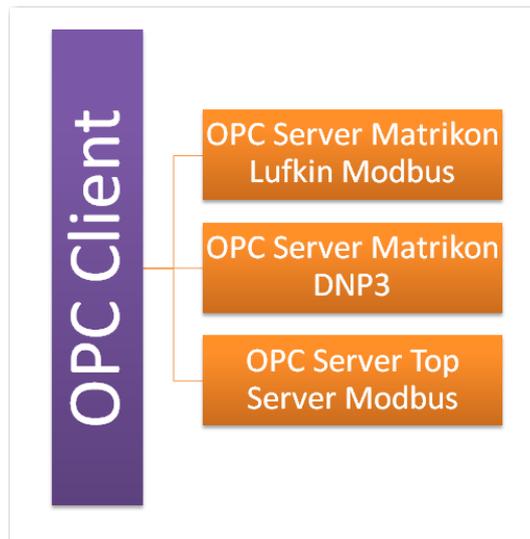


Figura 17: Acceso a diferentes orígenes de datos desde un mismo OPC Cliente

A su vez los datos contenidos en cada uno de los servidores OPC, pueden ser organizados y jerarquizados en un árbol, facilitando la administración y el acceso a los dispositivos como muestra la figura 18.

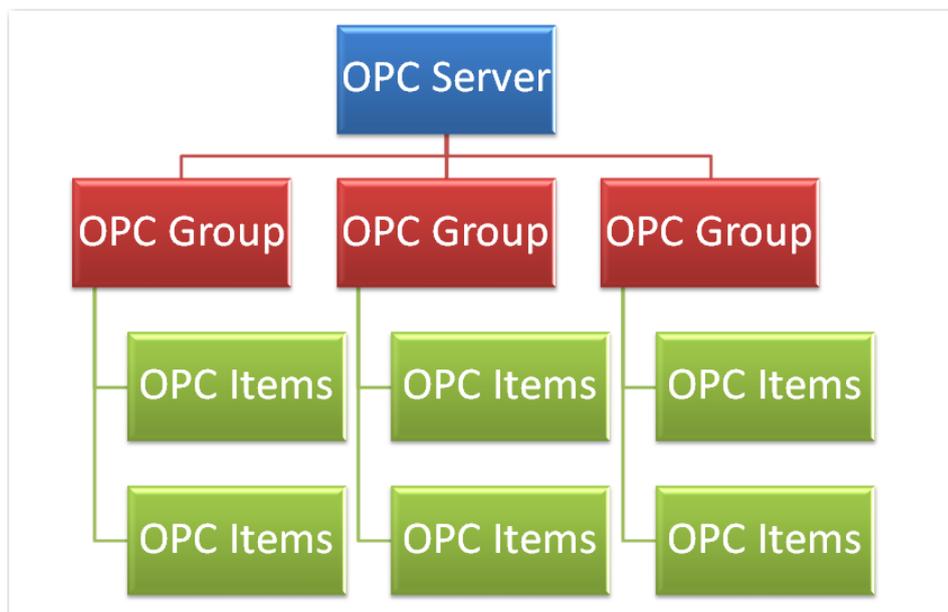


Figura 18: Jerarquía de OPC

En el caso de estudio se utiliza el driver OPC de Matrikon Lufkin Modbus, este driver permite encapsular en TCP/IP<sup>14</sup> una trama Modbus ELAM<sup>15</sup>, compatible con los controladores Lufkin Utilizados en el control de los pozos que se encuentran en producción.

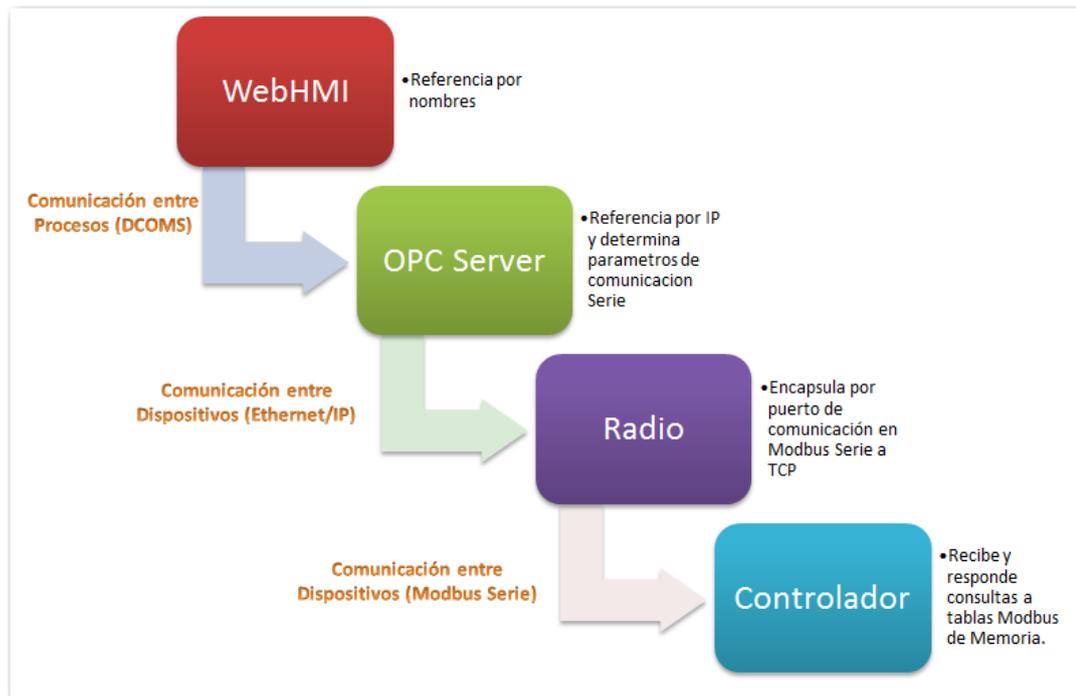


Figura 19: Diagrama de Bloques de capas y comunicaciones entre ellas

## II.III ADMINISTRACION DE LOS REMOTOS CONSULTADOS

Cada equipo de bombeo mecánico, tiene instalado un controlador Lufkin SAM, que es conectado al HMI a través de Matrikon OPC Server.

Este controlador posee en su firmware todos los datos necesarios para la optimización y monitoreo permanente de las instalaciones del pozo.

<sup>14</sup> Transmission Control Protocol Internet Protocol

<sup>15</sup> Extended Lufkin Automation Modbus



Figura 20: Controlador de pozo SAM de Lufkin (Remote Pump Off Controller)

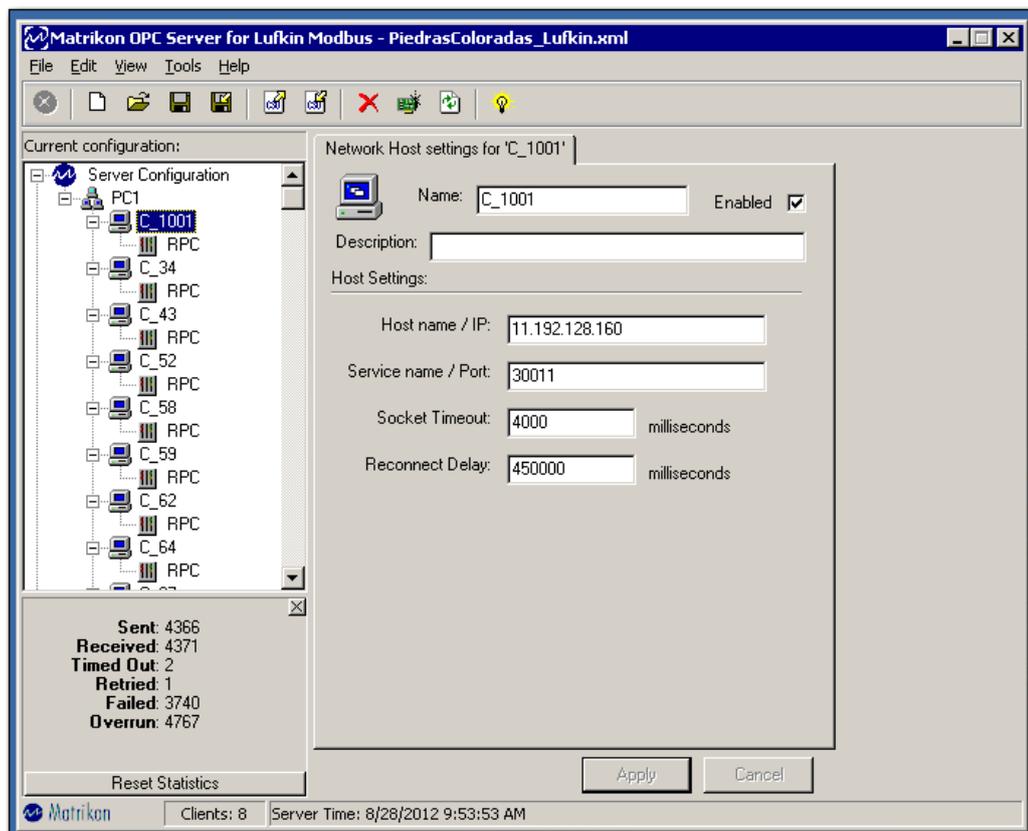


Figura 21: Interfaz de Driver OPC – Lufkin Modbus Version 1.203

En la figura 21 podemos observar la interfaz del driver OPC de Lufkin Modbus, el cual permite generar con los dispositivos de campo un árbol de 3 niveles, donde el primer nivel corresponde al punto de acceso de la red de comunicaciones, el segundo nivel a la RTU, donde el usuario le puede asignar a cada controlador de pozo Modbus una dirección IP y luego el tercer nivel, donde el usuario le asigna un tipo de controlador o RTU dependiendo del tipo de instalación que se monitorea, en este caso pueden ser controladores de pozo con aparatos Individuales de bombeo o controladores de pozo de inyección de agua.

Administrativamente la herramienta permite asignar a cada pozo una dirección IP y un nombre. El nombre será utilizado por las capas superiores de software (HMI) para referenciar al pozo que corresponda.

Cada IP posee a su vez un tipo de controlador, en este caso son Remote Pump Off Controllers (RPC), en este nivel de dispositivo de campo es donde se parametriza el número de esclavo modbus o dirección local del dispositivo y el direccionamiento de los datos de las tablas de información que contiene el controlador.

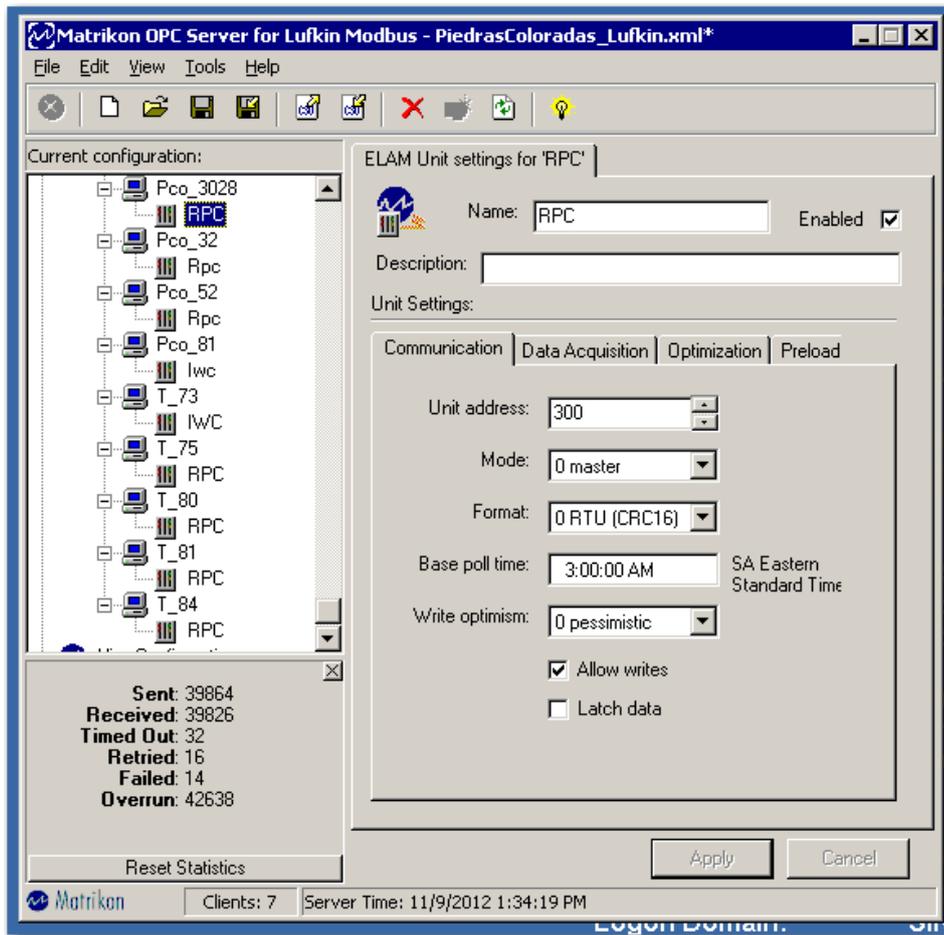
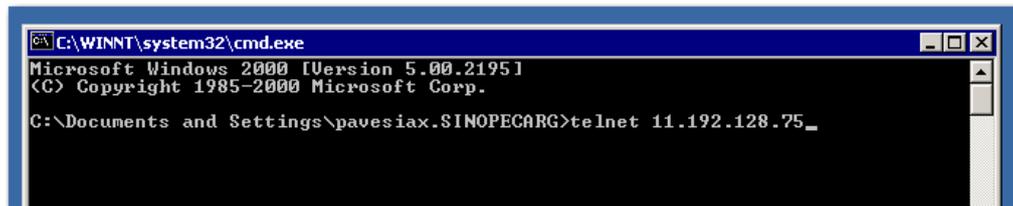


Figura 22: Consola de Administración de Matrikon OPC for Lufkin Modbus

La dirección IP será la dirección IP de la radio conectada al controlador Lufkin en el campo, la tecnología utilizada es de encapsulamiento y los modelos instalados en campo tienen embebido un conversor de protocolos Modbus TCP a Modbus Serie, que es el

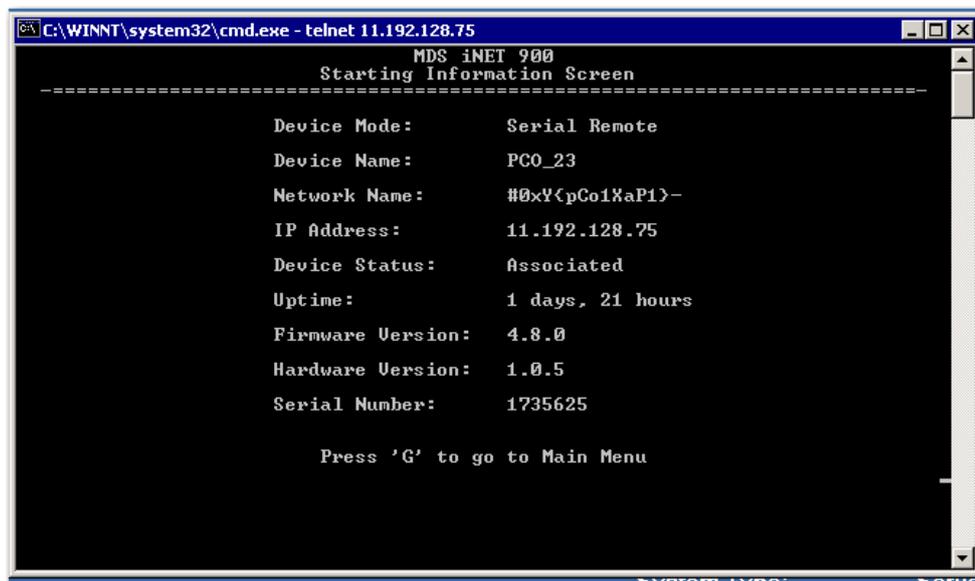
interface utilizado en estos dispositivos remotos de medición y control de pozos petroleros de bombeo mecánico, denominados AIB<sup>16</sup>.

Para que la configuración de la radio funcione como Gateway contra el controlador se realiza la siguiente parametrización utilizando Telnet:



```
C:\WINNT\system32\cmd.exe
Microsoft Windows 2000 [Version 5.00.2195]
(C) Copyright 1985-2000 Microsoft Corp.
C:\Documents and Settings\pavesiax.SINOPECARG>telnet 11.192.128.75_
```

Figura 23: Comando Telnet en la consola de Windows del Server OPC



```
C:\WINNT\system32\cmd.exe - telnet 11.192.128.75
MDS iNET 900
Starting Information Screen
-----
Device Mode:      Serial Remote
Device Name:      PC0_23
Network Name:     #0xY(pCo1KaP1)-
IP Address:       11.192.128.75
Device Status:    Associated
Uptime:           1 days, 21 hours
Firmware Version: 4.8.0
Hardware Version: 1.0.5
Serial Number:    1735625

Press 'G' to go to Main Menu
```

Figura 24: Pantalla de ingreso a la radio

En la configuración de la radio se debe dar de alta el nombre del pozo y la dirección IP correspondiente desde el menú “Network Configuration” :

<sup>16</sup> Aparato Individual de Bombeo.

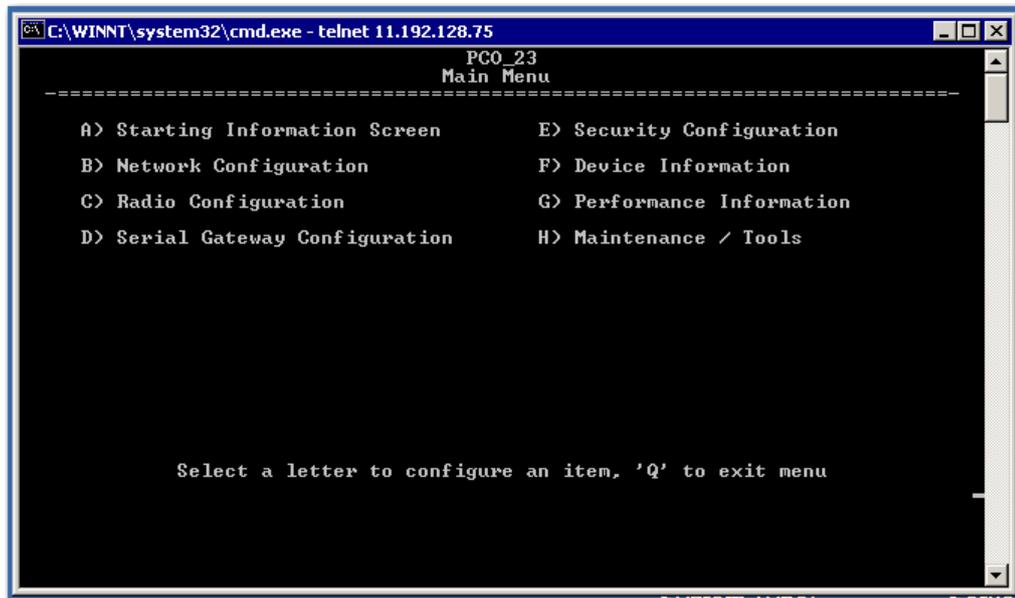


Figura 25: Menú de configuraciones

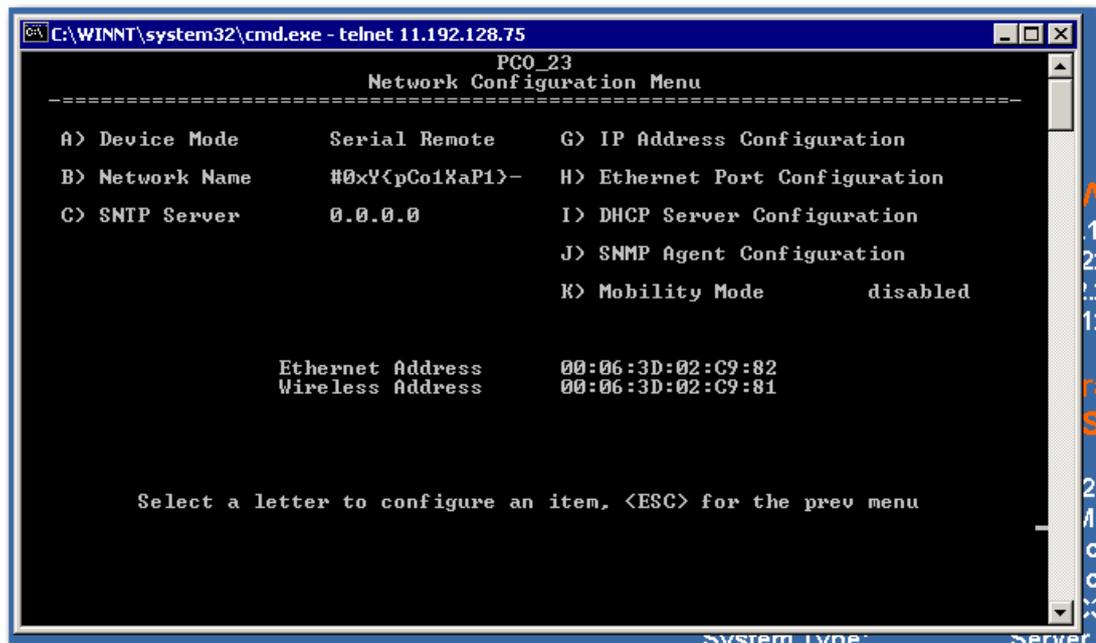


Figura 26: Propiedades de la red

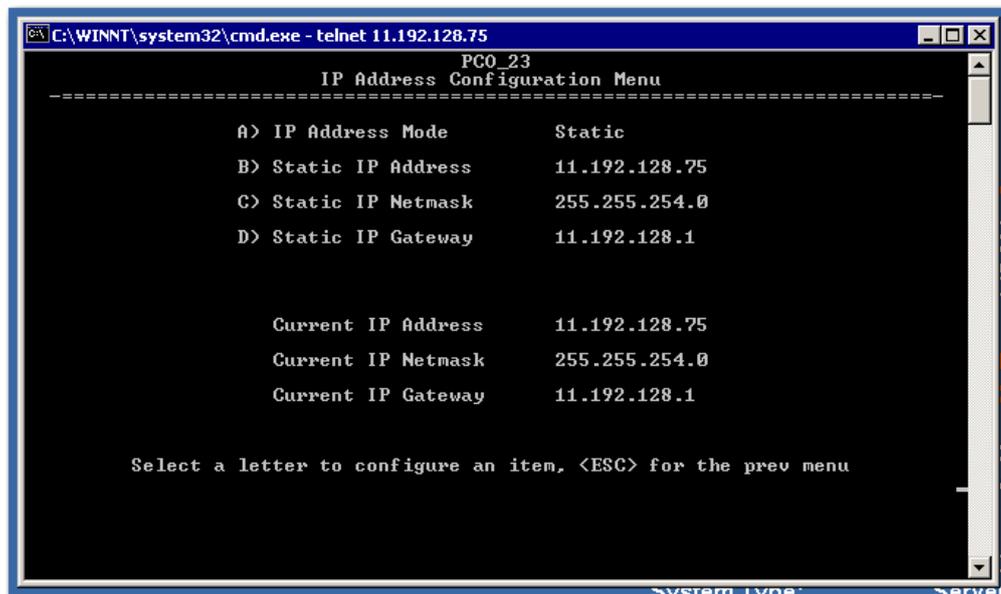
En el menú de “Network Configuration” de la figura 26 se selecciona la función de “Serial Remote”, en A), esto activa el programa de Gateway Modbus/TCP a serie, es decir que los paquetes que salen del driver Matrikon OPC encapsulando la información de la trama serie, serán desviados al Service Port 3011 de la radio, activando la función de Gateway

que es parte del firmware, para realizar la correspondiente conversión y serialización de los paquetes dirigidos a esta dirección IP.

También con B) se configura el “Network Name”, que debe coincidir con el del Acces Point al que apunta la radio.

Luego se da de alta la IP correspondiente al pozo en la opción G).

Posteriormente se carga el modo de direccionamiento A) en este caso utilizando IP estática, la dirección IP en B), la máscara de la sub red en C) y el Gateway en D).



```
C:\WINNT\system32\cmd.exe - telnet 11.192.128.75
PC0_23
IP Address Configuration Menu
-----
A) IP Address Mode           Static
B) Static IP Address         11.192.128.75
C) Static IP Netmask         255.255.254.0
D) Static IP Gateway         11.192.128.1

Current IP Address           11.192.128.75
Current IP Netmask           255.255.254.0
Current IP Gateway           11.192.128.1

Select a letter to configure an item, <ESC> for the prev menu
```

Figura 27: Menú de configuración IP de la radio

Todas las radios remotas comparten la misma configuración de radio, funcionando en 256 Kbps en el canal de Wireless.

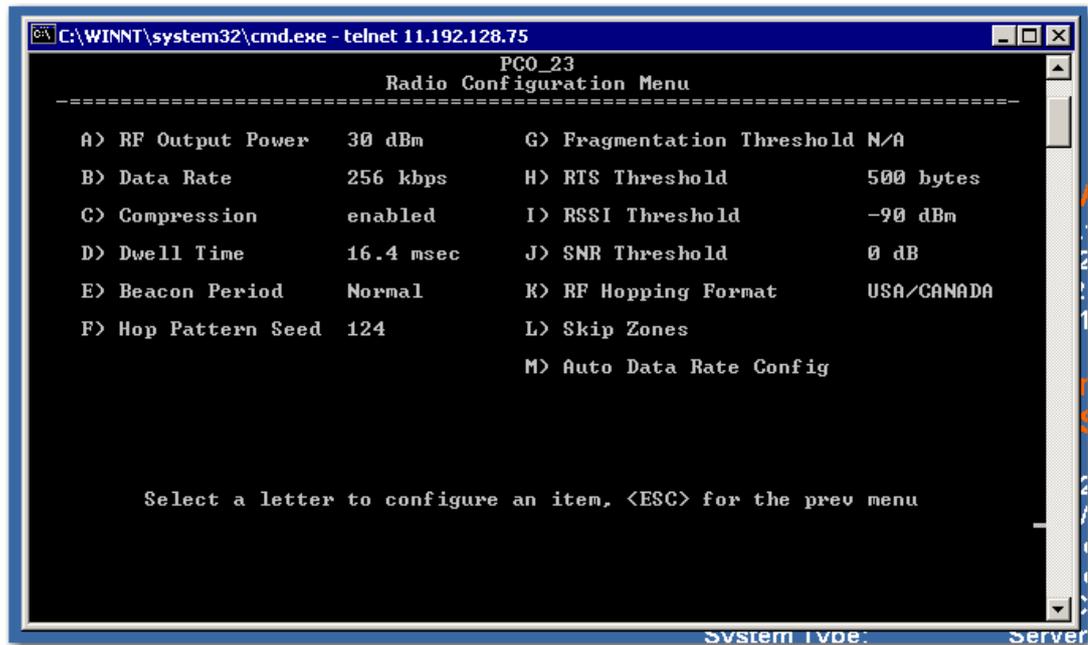


Figura 28: Menú de configuración de parámetros de radio

Todas las radios remotas comparten la misma configuración en su interfaz Serie, en el cual esta conectado el controlador, utilizando para ello el Com2:

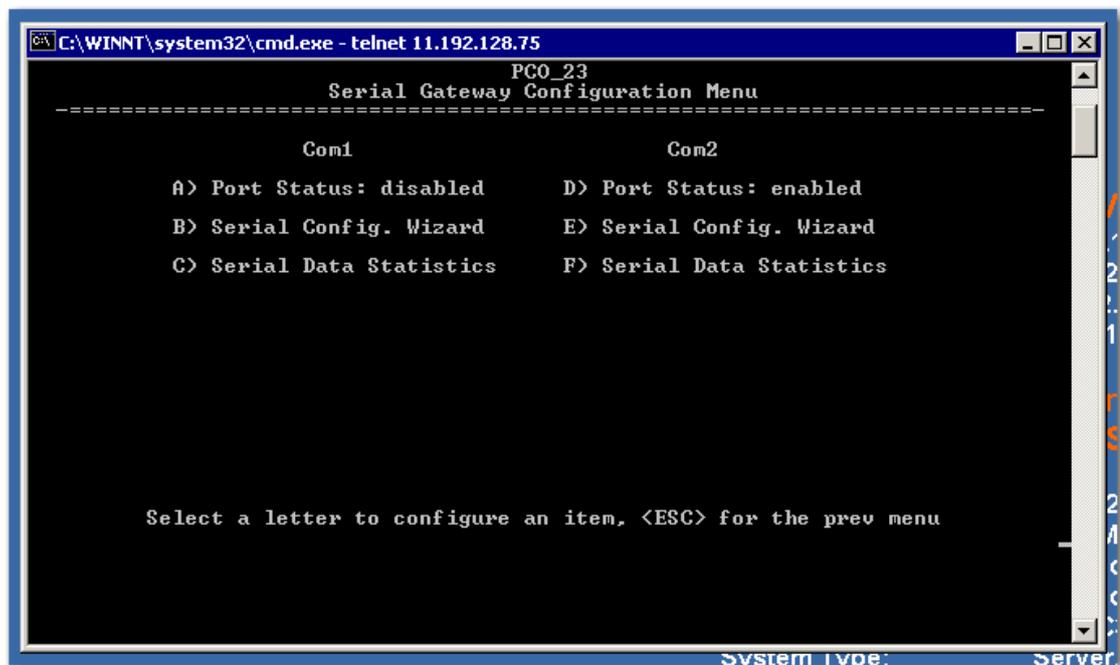


Figura 29: Menú de configuración de Gateway Serie

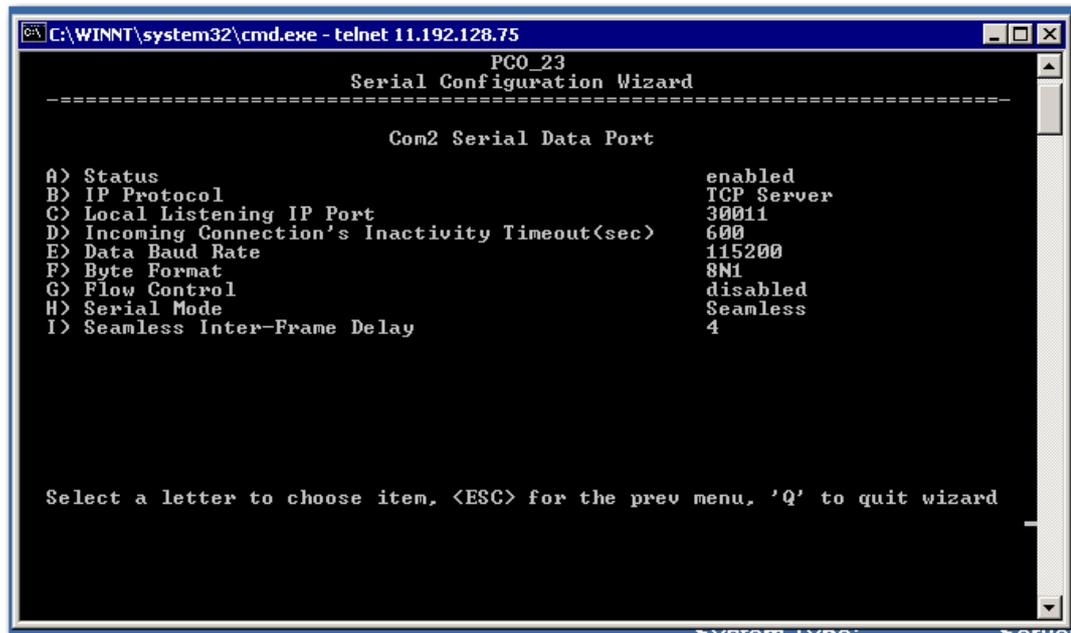


Figura 30: Menú de configuración de Puerto Serie.

En la configuración se determina la siguiente parametrización, que debe coincidir con la configuración del puerto del controlador para que puedan establecer la comunicación entre ellos:

Status: enabled. Habilita el servicio del puerto serial

IP Protocol: TCP Server. Establece como protocolo de conexión hacia el HOST OPC el modo TCP.

Local listening IP Port: 30011. El Service Port 30011 ejecuta en el firmware la funcionalidad de Gateway ModbusTCP a Modbus Serie. De esta manera cuando la radio recibe un paquete TCP con el service port 30011 enviados por el Matrikon OPC Server, la radio deriva el contenido del paquete al Gateway de puerto serie.

Incoming Connection's Inactivity Timeout (sec): 600. Es el tiempo de inactividad en el cual el remoto dará de baja el servicio hasta la próxima conexión del Host, quedando a la espera de una nueva comunicación.

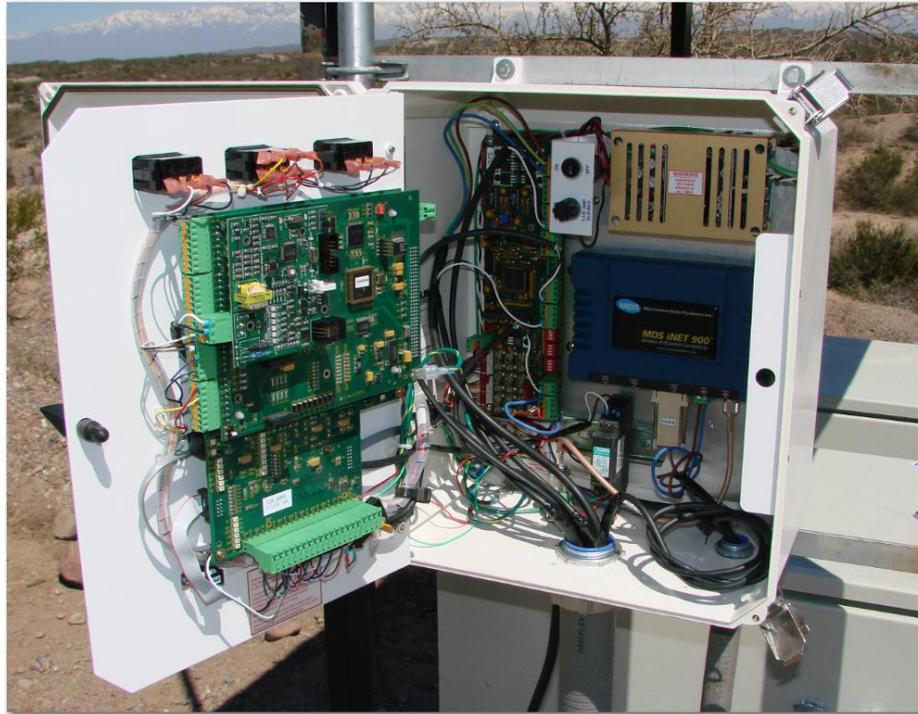
Data baud rate: 115200. Es la máxima velocidad a la cual se puede comunicar el controlador SAM de Lufkin por su puerto ModBus Serie.

Byte Format: 8N1. Es el formato de bytes en el SAM.

Flow Control: Disabled. No se controla el flujo de comunicación de la comunicación serie.

Serial mode: Seamless. Este parámetro fija el tamaño del buffer del Gateway en 256 Bytes.

Serial InterFrame Delay: 4. Es el número de caracteres que va a representar el final de los mensajes.



**Figura 31: Instalación de la radio dentro del gabinete del controlador**

Para llegar con los paquetes de datos al controlador, se utiliza un protocolo diseñado por Modicom, debido a que este protocolo Modbus originalmente permitía algunas mejoras, Lufkin optimizó este protocolo. Esto le permitió utilizar la compatibilidad del protocolo estándar con los equipos de hardware (radios, acces point, servers) y customizar las funciones a las necesidades particulares de sus remotos. A continuación un detalle de esos cambios.

### **II.III.I NECESIDADES DE COMPATIBILIDAD CON TECNOLOGÍAS SERIE**

A pesar de que las tecnologías serie son utilizadas desde la década del 70, son varias las razones para mantener la compatibilidad con Modbus en los controladores, las más importantes son:

1. El controlador posee un firmware programado a medida del problema, y este desarrollo se realizó en la década del 80, donde este protocolo era el más utilizado en las redes de campo, donde la calidad, pero bajo ancho de banda eran las principales características.
2. Dentro del desarrollo del firmware de campo, el fabricante de los controladores de pozos Lufkin customizo las propiedades del protocolo Modbus (Meyer, Fuchs, & Thiel, 2009). Esto permitió elevar el número dispositivos direccionados de 255 a 2295, agregando un par de bits más a la cabecera de los paquetes, por lo tanto en los 80 uno podía tener esa cantidad de controladores en una misma red Modbus. (Pinnell, 2003)
3. También en esta mejora del protocolo, se aprovecharon los bits completos de cada palabra, y se logró introducir un flujo esencial para el diagnóstico de los equipos, ya que esto permite comunicar el set de datos completo de una carta de pozo o diagrama de bomba en un solo bloque de paquetes, información que esta representada por un conjunto de datos de 200 valores de peso y posición, generados por los instrumentos de medición instalados en el equipo de extracción.
4. La velocidad de transmisión del puerto de la radio permite configuraciones de hasta 115200 Bits por segundo, lo que posibilita un buen rendimiento en redes de automatización actuales, donde el ancho de banda de las radios instaladas es de hasta 512 kbits por segundo.
5. Las radios utilizadas para conectar los pozos poseen un puerto serie con conversor de protocolo Modbus a Modbus TCP (Automation, 2008), por lo que se facilita la conexión al servidor OPC utilizando directamente las direcciones IP , permitiendo la utilización de VLANs y las ventajas que esto determina en una red con gran cantidad de nodos.

### II.III.II Optimización de la comunicación MODBUS

Para poder optimizar al máximo la comunicación entre los dispositivos remotos y el scada, Lufkin implementó algunas mejoras al protocolo ModBUS<sup>17</sup>, permitiendo 2 nuevas funcionalidades.

1. Permitir el direccionamiento de más de 255 dispositivos, ya que en el protocolo original tenía solo un Byte para el direccionamiento.
2. Permitir la respuesta de los remotos en paquetes de datos, es decir con una sola consulta devolver más de un paquete de información.

### II.III.III Paquete Modbus estándar de consulta

ADDRESS	FUNCTION CODE	DATA	CRC
0x1 0000000	0xXX	...	...

**Figura 32: Paquete estándar original de Modicom Modbus**

Como se puede observar en la figura 32, el paquete estándar contiene un bloque de direccionamiento, uno de código de funciones, un bloque de datos y uno de chequeo de integridad.

En el diseño original se dejaron disponibles en las cabeceras varios bloques de datos que no fueron utilizados para posibles y futuras mejoras del protocolo.

Estos bloques fueron los que Lufkin modificó y utilizó para la optimización de las comunicaciones de sus remotos de pozos.

### II.III.IV Paquete Modbus estándar de respuesta

ADDRESS	FUNCTION CODE	# OF BYTES HIGH	DATA	CRC
0x10000000	...	...	...	...

**Figura 33: Paquete de respuesta original de Modbus**

En el ejemplo de la figura 33 se ve un paquete de ejemplo de recepción de datos, donde se cuenta con un bloque de direccionamiento, un código de función, la cantidad de números de bytes altos esta utilizada siempre en 0 (están en reserva en el paquete Modbus de Modicom), los datos y luego el chequeo de integridad.

<sup>17</sup> Protocolo de Modicom ahora estándar de campo

### II.III.V Paquete Modbus ELAM de consulta

ADDRESS HIGH	ADDRESS LOW	FUNCTION CODE	DATA	CRC
0x11111000	0x00011110	...	...	...

**Figura 34: Paquete de consulta modificado**

Como se puede observar en la figura 34, Lufkin modificó el paquete de consulta para poder implementar las mejoras necesarias, al utilizar los campos libres de la versión original agregaron la posibilidad de tener un par de bits más de direccionamiento, utilizando una parte alta de un Byte contiguo para llegar a 2295 dispositivos.

También se implementaron funciones nuevas para poder consultar por bloques de direcciones y no solo por valores simples.

### II.III.VI Paquete Modbus ELAM de respuesta

ADDRESS HIGH	ADDRESS LOW	FUNCTION CODE	# OF BYTES HIGH	# OF BYTES LOW	DATA	CRC
0x11111000	0x00011110	...	...	...	...	...

**Figura 35: Paquete Modbus Elam de respuesta**

En el paquete de respuesta de la figura 35 se implementaron los direccionamientos extendidos y también la posibilidad de armar bloques de hasta 2500 paquetes, es decir que poseen un campo de direccionamiento de orden que permite ordenar y numerar hasta 2500 paquetes que responden a una sola consulta del host, con esto se evita tener que pedir de a una las direcciones Modbus del controlador, con lo cual se implementaron códigos de función y mapas de conjunto de direcciones que devuelven en algunos casos gran cantidad de paquetes, un ejemplo es la carta dinamométrica del controlador, que se pide con un código de función y devuelve 200 puntos compuestos de peso y posición en un solo bloque.

## II.IV APLICACIONES DE CONTROL DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO MECÁNICO

Un sistema de bombeo mecánico es el encargado de realizar la extracción del petróleo del pozo.



**Figura 36: Aparato Individual de Bombeo**

El mismo está compuesto por una serie de partes mecánicas que deben ser contraladas para maximizar la producción del pozo, asegurar el mínimo impacto ambiental, mantener las partes mecánicas en las tolerancias de fuerzas y cargas permitidas y a la vez minimizar el desgaste.

Con estos propósitos se les instala un controlador local Lufkin SAM que mide las variables principales del pozo, como por ejemplo las cargas de esfuerzo, las revoluciones por minuto del motor, la cantidad de golpes o ciclos de bombeo y la presión en la línea o cañería de producción, que es por donde fluye el líquido extraído por la bomba, asegurando el correcto funcionamiento y permitiendo a los ingenieros de producción establecer los regímenes de funcionamiento más convenientes para cada pozo.

Esta optimización del funcionamiento del equipo, es lo que los usuarios pueden realizar desde las capas HMI de este sistema, a través de distintas aplicaciones, dependiendo la función específica que se quiera realizar. En Sinopec se utiliza Lowis (OPC Cliente) como un software herramienta de optimización e Iconics (OPC Cliente) como un software de seguimiento de alarmas y funcionamiento global, siendo este último el de mayor simpleza para el general de los usuarios.

El Lewis se utiliza para poder acceder a la totalidad de los datos de configuración de los remotos.

El especialista se encarga de cargar los detalles de cada pozo, estos parámetros son:

- Referidos al Pozo: Algunos de estos datos son la profundidad, el diámetro, nivel, características del fluido, punzados, cañería.
- Referidas a la instalación de superficie: equipo de bombeo, sus dimensiones, carrera efectiva, motor, revoluciones de trabajo.

Cada pozo es representado por su nombre y la información asociada al pozo se muestra en una grilla.

Nombre	Fecha de Escaneo	Hora de Escaneo	Última Buena Fecha de Escaneo	Último Buen Escaneo	Mensaje de Alarma	Nombre de Separador	Modo Host	Modo POC	Hora de Inicio	Estado de Motor	Comentario	Comentario Largo Plazo	Corrida Hoy	% R/T de Hoy	Cic
C-70	11/07/2012	10:07	11/07/2012	09:52	OPC Err Last Known	none	POC	?????	02:35	??????			1.87	100.00	
C-73	11/07/2012	10:07	11/07/2012	09:52	OPC Err Last Known	none	POC	?????	0:02	??????			0.43	23.00	
Cox-2	11/07/2012	10:07	11/06/2012	00:23	OPC Err Last Known	none	POC	?????	0:18	??????			12.61	77.00	
B-4	11/07/2012	10:07	11/07/2012	10:07		none	POC	PodR	22:47	Running	Flo flocon en 2230 mts		2.93	93.00	
B-14	11/07/2012	10:07	11/07/2012	10:07		none	POC	PodR	0:52	Down	Leve OF - se pide bajar regimen de 0 a 5, problemas en calificación de línea		0.92	43.00	
B-2	11/07/2012	10:07	11/07/2012	10:07		none	POC	PodR	0:38	Down	Buen Arco, good median - se ajusta potencial		1.26	59.00	
B-21ST2	11/07/2012	10:07	11/07/2012	10:07		none	POC	PodR	0:48	Down	Controla a TH quieto. Se pide medición Arco de Batcheo Intero 0.6 m3		0.62	29.00	
B-23	11/07/2012	10:08	11/07/2012	10:08		none	POC	PodR	0:33	Running	Subo a 7.1 ventilador OF		0.60	38.00	
B-25	11/07/2012	10:08	11/07/2012	10:08		none	POC	PodR	1:30	Running	Falla No RPM queda en host		2.07	97.00	
B-26	11/07/2012	10:08	11/07/2012	10:08		none	POC	PodR	25:40	Running			1.13	100.00	
B-9	11/07/2012	10:08	11/07/2012	10:08		none	POC	PodR	25:07	Running	Leve OF. Medicion de Sum. 0 mts		2.13	100.00	
POC-1002	11/07/2012	10:08	11/07/2012	10:08		none	POC	PodR	0:08	Running	Golpe de Flujo - Mantener - Pozo estable sin variaciones		1.30	61.00	
POC-1003	11/07/2012	10:08	11/07/2012	10:08		none	POC	PodR	0:18	Running	Leve golpe de flujo. Intero 24m3. Sum medida. 706 mts		0.93	43.00	
POC-1005	11/07/2012	10:08	11/07/2012	10:08		none	POC	PodR	22:47	Running			2.14	100.00	
POC-1007	11/07/2012	10:08	11/07/2012	10:08		none	POC	PodR	1:42	Running	Golpe de Flujo Mantener		2.14	100.00	
POC-1009	11/07/2012	10:08	11/07/2012	10:08		none	POC	PodR	0:15	Running			0.58	27.00	
POC-1010	11/07/2012	10:08	11/07/2012	10:08		none	POC	PodR	0:40	Running			1.07	50.00	
POC-1020	11/07/2012	10:08	11/07/2012	10:08		none	POC	PodR	0:38	Down	Golpe de Flujo Mantener		0.58	27.00	
POC-1023	11/07/2012	10:08	11/07/2012	10:08		none	POC	PodR	06:18	Running	Revisa cambio de varilla - Queda RTP		2.14	100.00	

**Figura 37: Grilla de pozos en Lewis**

Mediante el uso de Lewis, el operador no solo puede conocer el estado de la instalación, sino también el diagnóstico en línea del funcionamiento del equipo.

Este le permite optimizar las unidades para lograr un máximo de producción y también realizar un diagrama de mantenimiento correctivo y preventivo priorizando los recursos técnicos disponibles para las reparaciones y mejoras. Para esta priorización de las tareas se tiene en cuenta la producción neta de cada pozo, que es un dato que se puede medir con el mismo sistema.

Esta es una de las razones por las cuales es muy importante la alta disponibilidad del sistema.

Otra de las herramientas utilizadas que se conectan a través del OPC es el Iconics.

Con Iconics se publican las principales alarmas de cada pozo, permitiendo que los usuarios de producción, que no son especialistas, tengan un acceso más simple que Lowis para poder observar el estado de cada pozo.

En esta aplicación, la información se muestra de manera más simple, agrupando los pozos por zona geográfica y alcance de trabajo de cada yacimiento o zona productiva de petróleo.



Figura 38: Panel de grupo de pozos de Iconics

### **III. OBJETIVOS DEL DESARROLLO**

El objetivo del desarrollo es poder otorgar flexibilidad a la lista de remotos asociados, es decir que solo sean consultados los nodos que se encuentren comunicados de manera correcta.

Esto evita que el Driver OPC de Matrikon Lufkin Modbus genere colas de Time Out para los hilos de procesos, encargados de establecer la comunicación con los remotos del SCADA, dentro de los cuales pueden existir puntos sin energía o con problemas de comunicaciones, por lo que evitando la generación de estos hilos de consulta se puede evitar el colapso del servicio que actualmente se sufre.

Esta solución además de cumplir con los objetivos primordiales, debe ser compatible con el resto de las herramientas instaladas, ya que es muy difícil agregar nuevos componentes de software o hardware a la arquitectura instalada.

Otro punto importante, es lograr funcionalidad sin interferir en el funcionamiento de los equipos, sobre todo sin aumentar de manera significativa el ancho de banda del cual actualmente se dispone, ya que aunque no es un aspecto preocupante en el general de la red, si existen casos particulares donde seguramente se deberán realizar tareas de mejora.

La solución propuesta es un híbrido de control, leyendo el estado de las radios remotas con el protocolo SNMP<sup>18</sup> y dependiendo del estado de las mismas, se habilita o deshabilita la lectura de los dispositivos de campo en el driver OPC de Matrikon Lufkin Modbus.

El objetivo del sistema es poder minimizar los tiempos de scan inútiles, es decir si se detecta por SMNP que el nodo remoto está caído, automáticamente se le da de baja y esto evita generar grandes colas de espera, sin tener respuesta de los remotos.

#### **III.I PREMISAS Y RESTRICCIONES DEL ESCENARIO TÉCNICO**

Para el desarrollo de la solución, se debe cumplir con varias premisas que determinan el escenario de aplicación, entre estas podemos nombrar:

- Asegurar la actualización del estado del canal de manera automática.

---

<sup>18</sup> Simple Network Management Protocol

- El estado del canal debe concordar con el estado real del sistema remoto de pozos.
- El sistema debe reaccionar de manera rápida y ordenada, sin afectar los procesos que ya están ejecutándose en los servidores.
- Debe permitir conocer el estado general de las comunicaciones de cada nodo en cualquier momento.
- Debe estar disponible un registro (log) de actividades de manera que permita observar el comportamiento en el tiempo de los canales.
- La herramienta debe ser flexible y fácil de implementar.
- Debe requerir el mínimo posible de mantenimiento.
- Debe integrarse a la tecnología actualmente utilizada.

En este desarrollo también se debe contemplar la situación socio política del escenario de implementación, ya que es de vital importancia mantener o disminuir la complejidad del sistema instalado, ya que en la Patagonia, donde geográficamente esta emplazado el proyecto, es crucial el aprovechamiento del recurso humano existente siendo prácticamente imposible agregar más recursos especializados o requerir de mayor grado de capacitación al existente, ya que la disponibilidad de mano de obra calificada en estas latitudes es prácticamente nula, y los costos de movilidad son altísimos.

## IV. EQUIPAMIENTO Y SOFTWARE UTILIZADOS

En la empresa se estandarizó, por decisión corporativa, la utilización de diferentes componentes en el modelo de capas, evaluando varios factores, como por ejemplo el precio, la versatilidad, la posibilidad de contar con recursos de programación y mantenimiento, la estabilidad general, la compatibilidad con el resto de las aplicaciones, la portabilidad de los datos y la modularidad.

Finalmente en la zona del Golfo San Jorge, se implementaron las siguientes herramientas definiendo los entornos de trabajo:

- Controlador de pozo Sam de Lufkin.
- Radios iNET 900 Spread Spectrum para la última milla.
- Troncales de red Motorola Canopy de 50 Mbps<sup>19</sup>, NEC Pasolink de 100 Mbps y Radios Emerson de 4 tramas de 2 Mbps para unir con las oficinas de Buenos Aires y Piedras Coloradas Mendoza.
- Switches Moxa en campo y Cisco en oficinas.
- Servidores HP DL360 y DL380 G5 y G7.
- Sistema operativo Windows.
- Bases de datos Microsoft SQL Server.
- Driver de consulta a Lufkin Modbus desarrollado por Matrikon.
- Grupo de software SCADA Iconics Génesis Versión 9 de 32 bits.

De esta manera se pudo realizar una implementación a gran escala, teniendo como participantes a diferentes áreas de la empresa, como son mantenimiento, operaciones, sistemas y comunicaciones.

La estructura necesaria de comunicaciones para brindar cobertura a todos los pozos de la empresa se fue adaptando por zonas y puntos de acceso, para ir creciendo en número de remotos que ya se encontraran en la zona iluminada de la red.

La configuración de repetidoras que inicialmente se planteó estaba dividida en 2 redes físicas:

1. Un anillo principal con equipos S.D.H. en banda licenciada, que permita la conectividad entre las 8 oficinas de administración de los yacimientos, el uso de

---

<sup>19</sup> Mega Bits Por Segundo

telefonía IP y servicios de red como el uso de directorios compartidos, aplicaciones cliente servidor y servidores de impresión y escaneo.

2. Un anillo de automatización con equipos Motorola Canopy, tecnología O.F.D.M.<sup>20</sup> utilizado para comunicar los remotos al servidor de aplicaciones.
3. Una sola sala de server para todas las estaciones remotas y un solo nodo de comunicaciones y aplicaciones para todas las oficinas administrativas

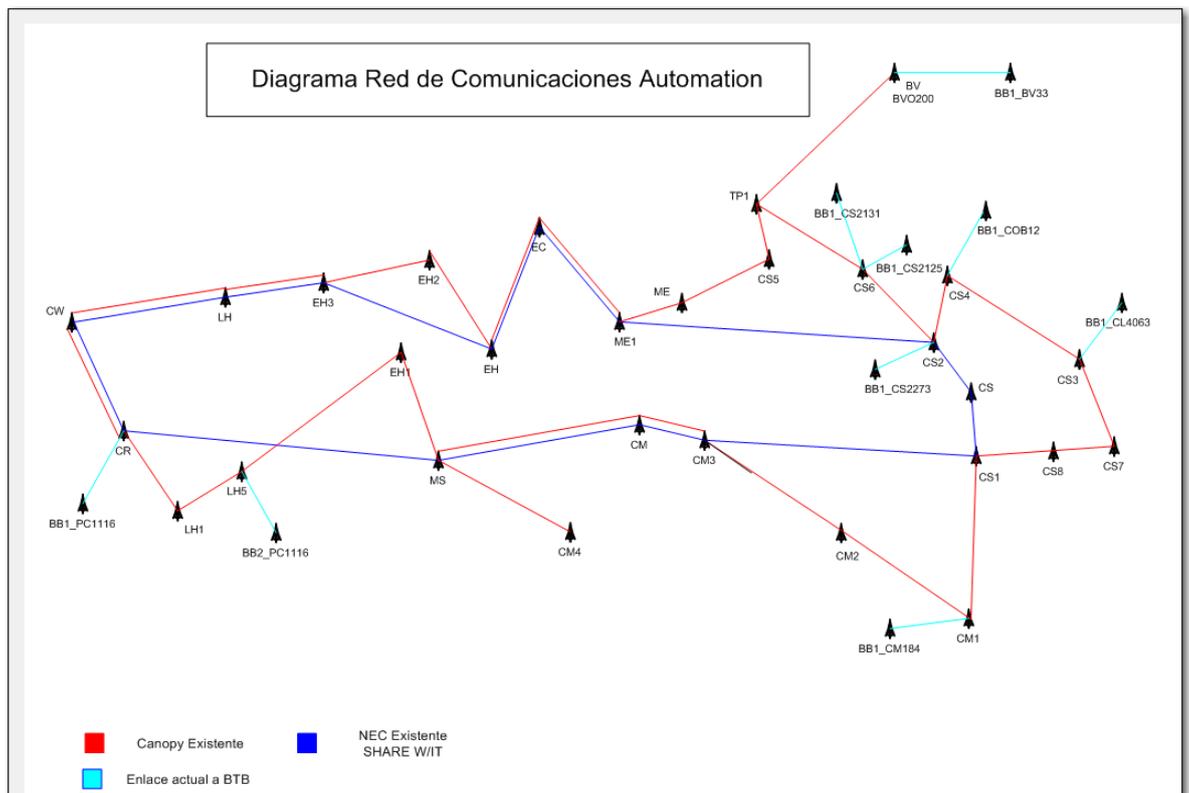


Figura 39: Diagrama de Red de campo y oficinas

En este diagrama podemos observar el anillo en azul utilizado para enviar los servicios de datos de aplicaciones y telefonía hacia las oficinas satélites y en rojo los troncales de acceso para los datos originados en la telemetría remota, utilizados para llevar la información hasta el Data Center.

Por otro lado en la zona de Mendoza, en Tupungato, se implementaron las siguientes herramientas definiendo los entornos de trabajo:

<sup>20</sup> Orthogonal Frequency Division Multiplexing

- Controlador de pozo Sam de Lufkin.
- Radios INET 900 Spread Spectrum para la última milla.
- Troncales de red INET II de 1 Mbps y un radio Emerson con una trama de 2 Mbps, para unir las oficinas con Buenos Aires y Golfo San Jorge.
- Switches Moxa en campo y Cisco en oficinas.
- Servidores HP DL360 y DL380 G5 y G7.
- Sistema operativo Windows.
- Bases de datos Microsoft SQL Server.
- Driver de consulta a Lufkin Modbus desarrollado por Matrikon.
- Grupo de software SCADA Iconics génesis Versión 9 de 32 bits.

De esta manera se pudo realizar la misma implementación en ambos yacimientos, facilitando el mantenimiento y pudiendo capacitar a los recursos técnicos con las mismas herramientas.

Al igual que en el Golfo San Jorge, la estructura necesaria de comunicaciones para brindar cobertura a todos los pozos de la empresa se fue adaptando por zonas y puntos de acceso, para ir creciendo en número de remotos que ya se encontraran en la zona iluminada de la red.

En Piedras Coloradas se implementó una cadena de 5 repetidoras que permitieron iluminar un 90% del campo, dando 100% de cobertura a los pozos productores e inyectores activos.

Las características principales de esta red son:

1. Un anillo de automatización con equipos INET II de 1 Mbps, Spread Spectrum utilizado para comunicar los remotos al servidor de aplicaciones.
2. Una sola sala de server para todas las estaciones remotas y un solo nodo de comunicaciones y aplicaciones para todas las oficinas administrativas

Adrian Horacio Pavesi – Tesis de Maestría:  
“Optimización y Flexibilidad de Sistemas SCADA”

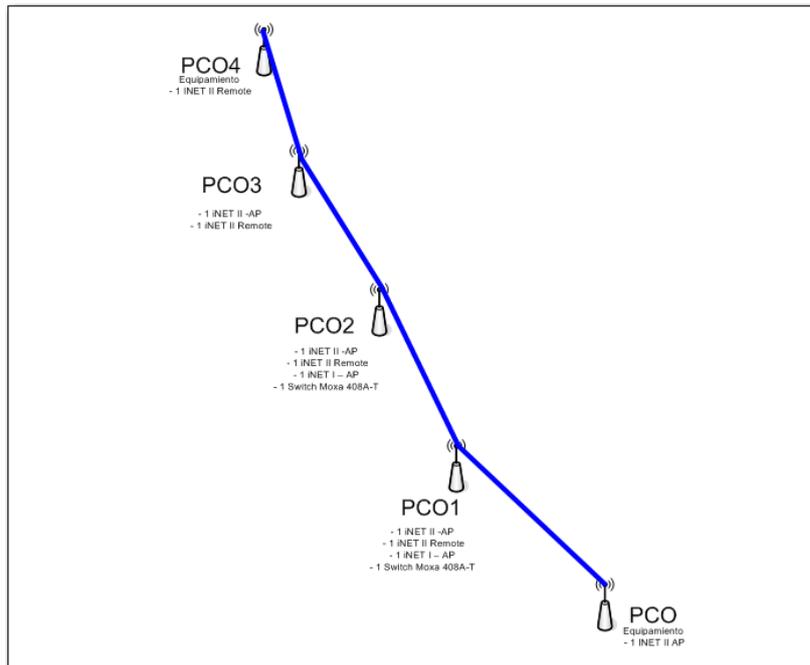


Figura 40: Troncal de comunicaciones de Mendoza

## V. OPTIMIZACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE RED INSTALADA

Debido al crecimiento de la cantidad de remotos se realizaron mejoras puntuales a la arquitectura.

Entre las mismas se destacan aquellas mejoras que implicaron compra de equipos de radios nuevos y por otro lado las que implicaron la aplicación de protocolos de routing y switching, aprovechando las bondades del hardware instalado.

### V.I MEJORAS DE INFRAESTRUCTURA

Una de las búsquedas iniciales en las mejoras de infraestructura, fue aprovechar los puntos de repetidoras o Access Point que contaban con torres como posibles caminos redundantes, cerrando los pequeños anillos que estaban en las líneas de vista de las instalaciones de campo.

De esta manera se fueron agregando nuevos segmentos que permiten el desvío del tráfico en caso fallas de los troncales principales del anillo.

Los tramos de radio enlace agregados al diseño original fueron los marcados en el siguiente esquema:

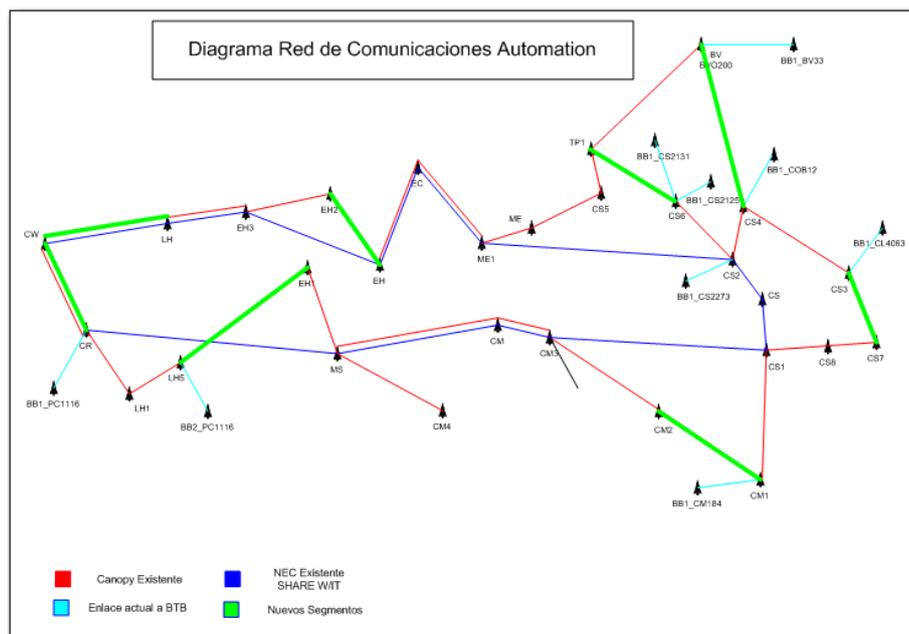


Figura 41: Mejoras en la infraestructura de red del Golfo San Jorge

Esto permitió disponer de nuevos segmentos de red, que permiten mayor grado de redundancia en los caminos de los paquetes que viajan desde y hasta el Data Center de Cañadon Seco.

De la misma manera se procedió a cerrar el anillo en Piedras Coloradas, ya que debido a la altimetría del terreno se pudo conectar la última repetidora con la primera del troncal principal.

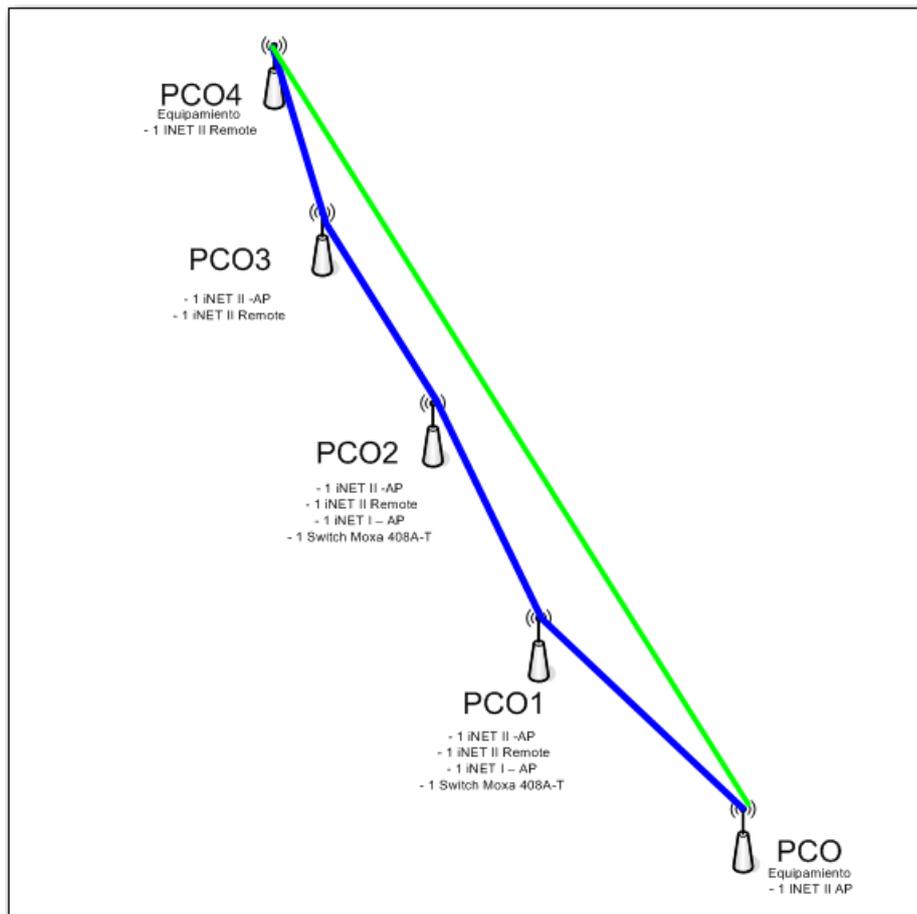


Figura 42: Mejoras en el troncal de comunicaciones de Mendoza

## V.II PROGRAMACIÓN DE LAS RUTAS DE SWITCHEO

Como mejoras de optimización a la arquitectura instalada también se aplicaron metodologías de switching, utilizando el protocolo Rapid Spanning Tree (Spanning Tree, 2012), compatible con los switches Moxas utilizados. Esta optimización generada con la programación de los switches de campo, sumada a la disponibilidad de canales de los equipos del anillo SDH de la red de negocios, permitió generar un esquema de trabajo completamente diferente, pudiendo asegurar diferentes anillos pequeños para permitir

alta disponibilidad en el flujo de datos hacia el Data Center de la red, ubicado en Cañadón Seco. También permitió en algunos casos darle respaldo al sistema SDH pensado originalmente solo para la red de negocios.

El detalle de la ingeniería aplicada a los switches de las repetidoras esta descrito en las siguientes figuras, donde se pueden ver los costos asociados a cada uno de los puertos de cada uno de los switches de las repetidoras. Los puntos azules son las repetidoras del anillo central y los rojos son las repetidoras externas al anillo principal.

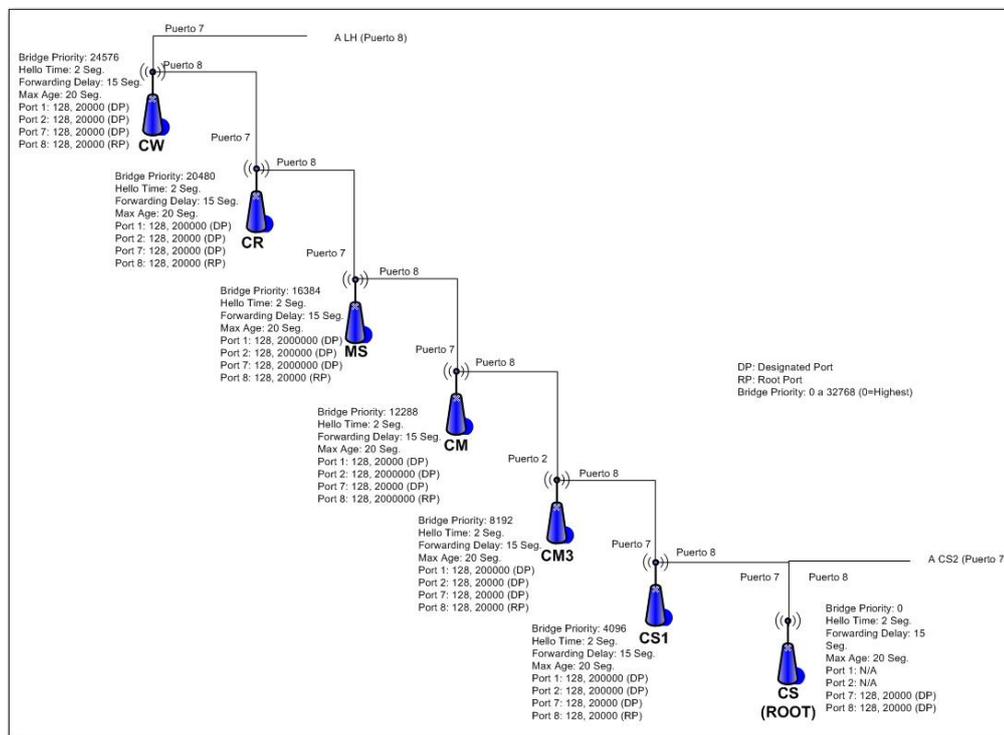


Figura 43: Anillo Principal de Golfo San Jorge

Adrian Horacio Pavesi – Tesis de Maestría:  
 “Optimización y Flexibilidad de Sistemas SCADA”

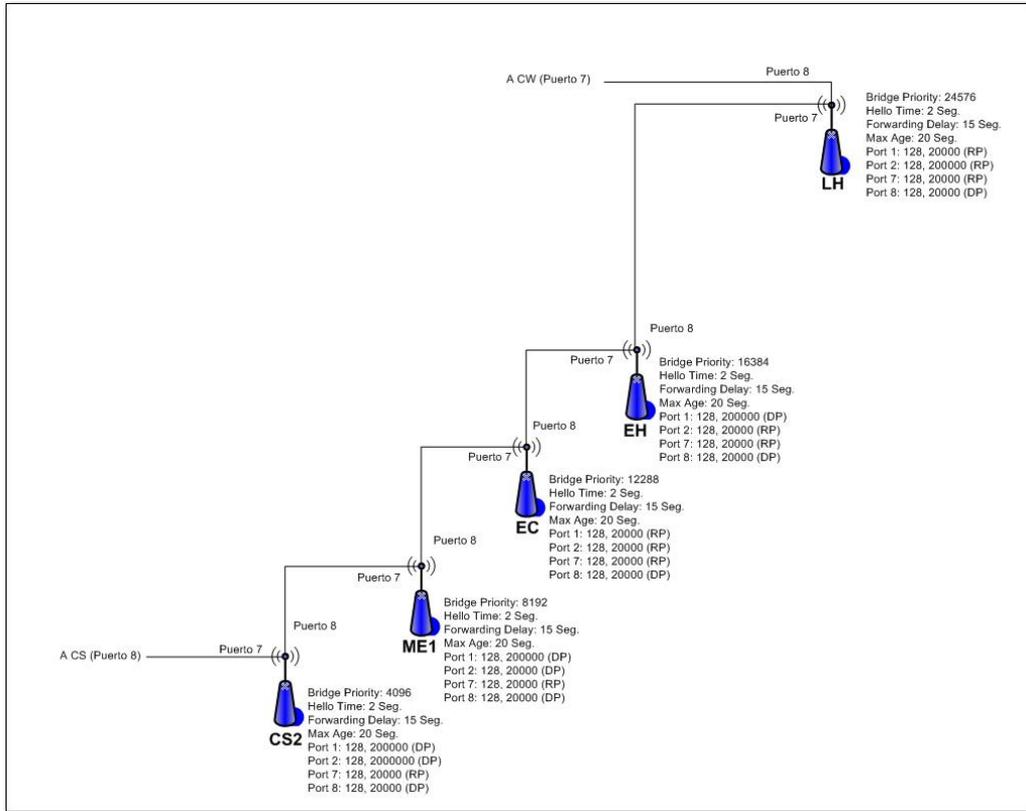


Figura 44: Anillo Principal de Golfo San Jorge

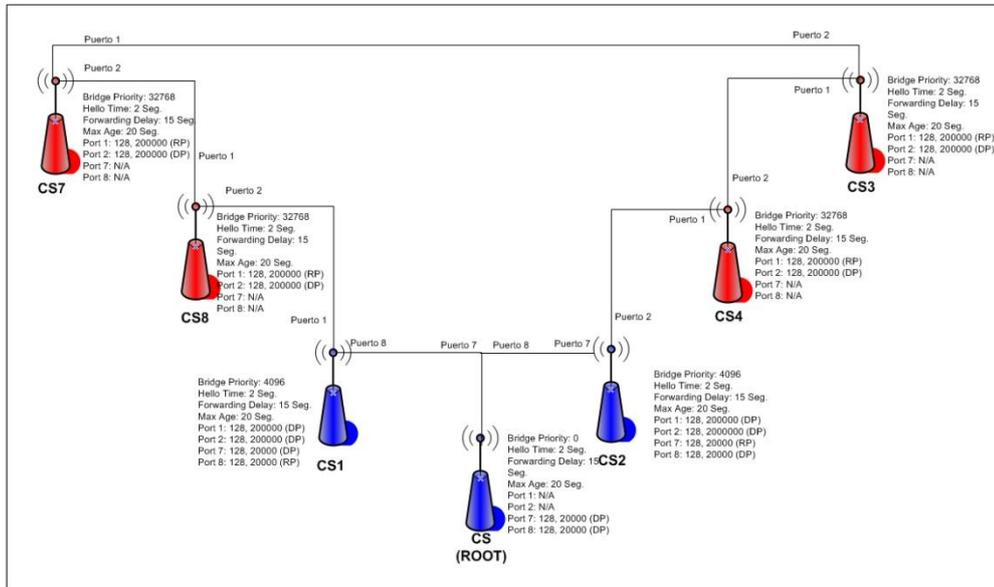


Figura 45: Anillo Secundario de Golfo San Jorge

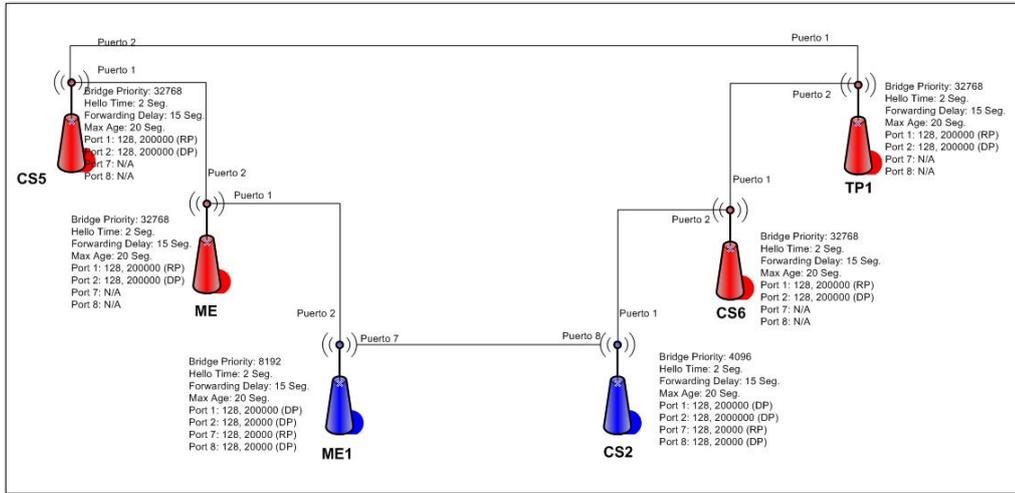


Figura 46: Anillo Secundario de Golfo San Jorge

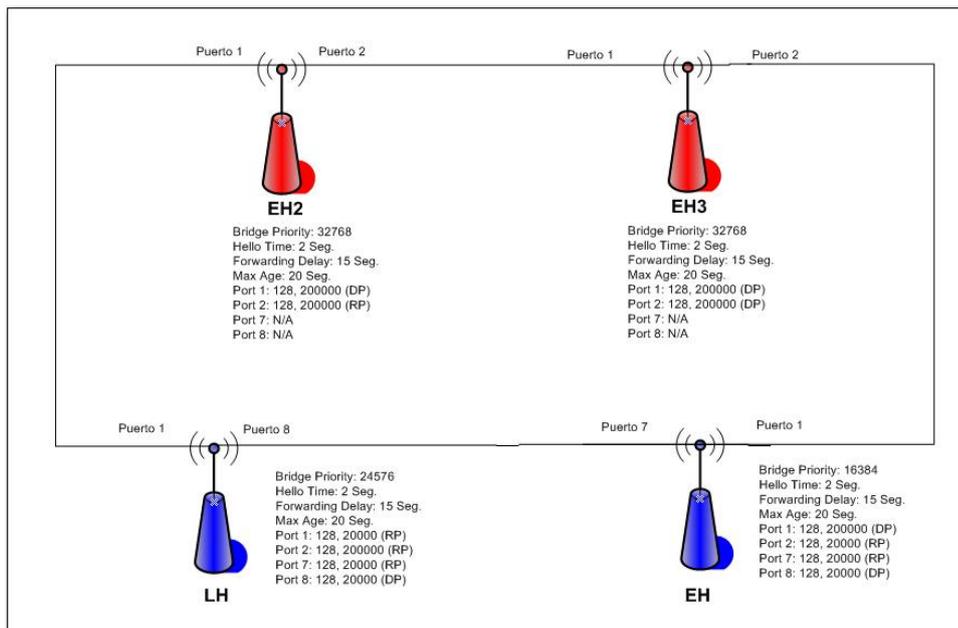


Figura 47: Anillo Secundario de Golfo San Jorge

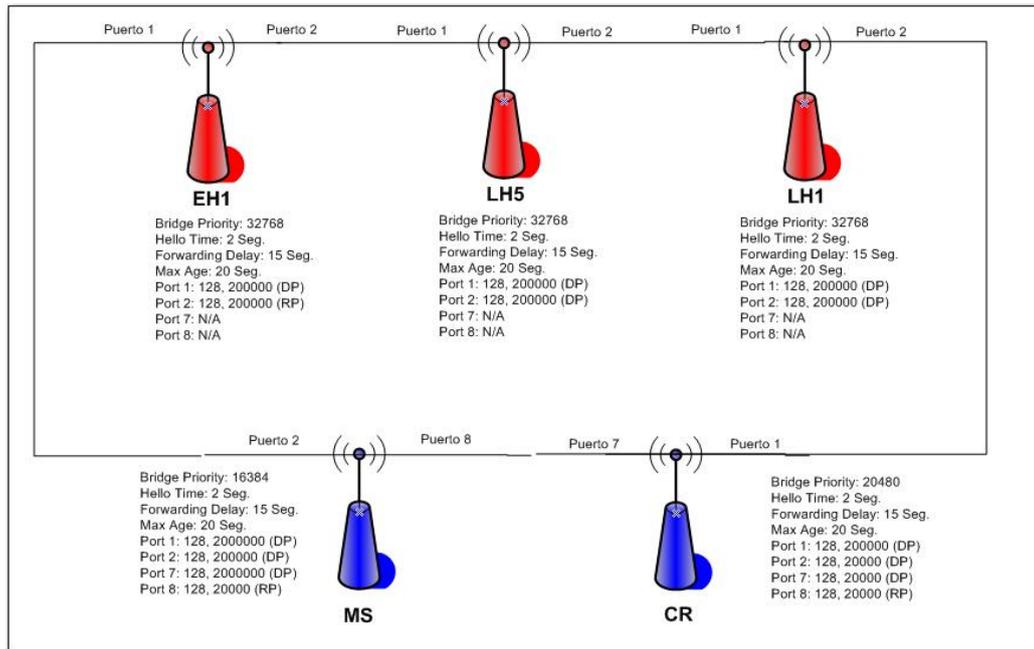


Figura 48: Anillo Secundario de Golfo San Jorge

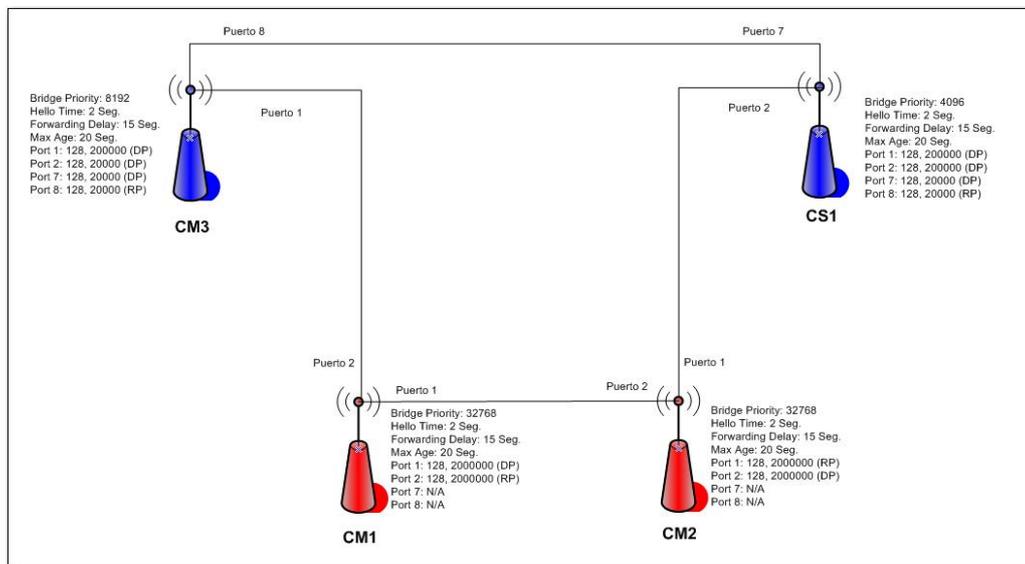


Figura 49: Anillo Secundario de Golfo San Jorge

Siguiendo con el lineamiento general de mejorar la disponibilidad de los enlaces de radio, en Piedras Coloradas también se optimizó la redundancia aplicando las reglas de Spaning Tree Protocol, quedando configurada la redundancia en un anillo simple circular. En la figura 50 podemos observar los costos correspondientes al modelo final implementado en Piedras Coloradas:

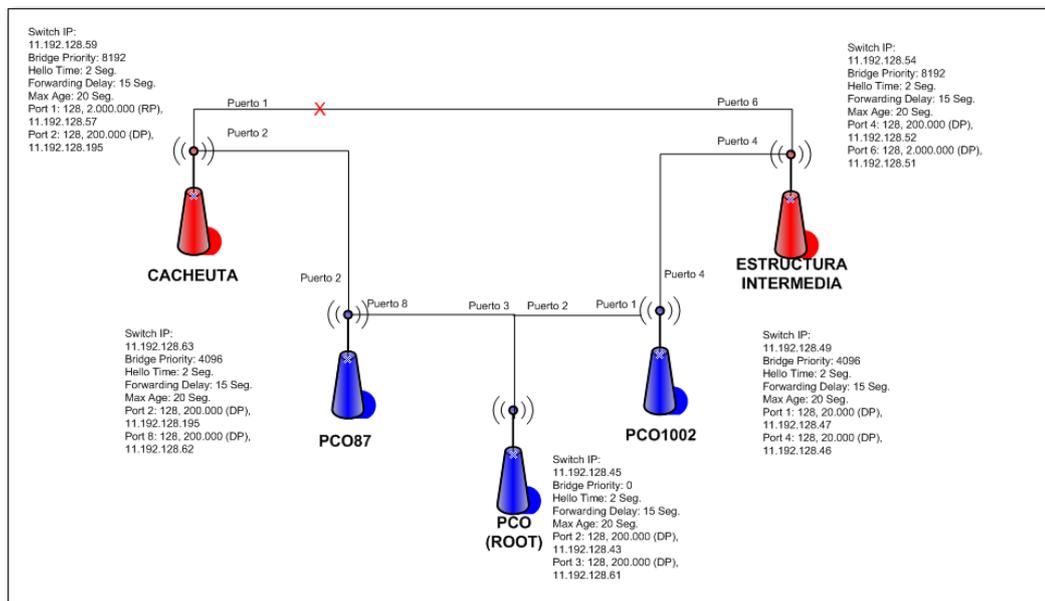


Figura 50: Configuración de anillo de Mendoza

## V.III SISTEMA DE CONTROL DE LA RED ELÉCTRICA

Uno de los grandes desafíos planteados y que no son objeto de la tesis, pero está estrechamente relacionado al correcto funcionamiento del sistema, es el monitoreo de los puntos de la red eléctrica.

El total de la potencia eléctrica necesaria para alimentar el yacimiento es generada por equipos alquilados y distribuida por una red eléctrica que pertenece a la compañía.

Para mejorar este importante aspecto, se está realizando un proyecto en conjunto con el departamento de Operaciones (gerencia de mantenimiento y gerencia de ingeniería de instalaciones) y el departamento de Tecnologías de Información.

Debido a las grandes pérdidas que producen las fallas eléctricas, se dispuso el desarrollo de un SCADA eléctrico, que acompañado de la instalación de nuevas protecciones de seccionamiento en campo, van a permitir el monitoreo de las principales sub estaciones.

Para el desarrollo de la aplicación fue necesario conectar aquellos dispositivos eléctricos instalados en campo que nunca habían sido integrados a una red de telemetría, teniendo que adaptar la tecnología OPC a cada uno de los modelos que se encuentran en servicio.

El punto de partida de este proyecto a principio de 2012, fue la contratación de un recurso dedicado a la programación de campo de las protecciones existentes y un scadista, que focalice el desarrollo de la aplicación de monitoreo de estas instalaciones.

Hasta la fecha se integraron un total de 50 sub estaciones eléctricas de un total de 120 y se equiparán las salidas de generación con un total de 11 dispositivos analizadores de red eléctrica bajo normas específicas, que permiten realizar un acabado seguimiento a las variables de las plantas de generación y también permitirá realizar una rápida respuesta de las cuadrillas de mantenimiento de la red. La figura 51 muestra un esquema de la red eléctrica.

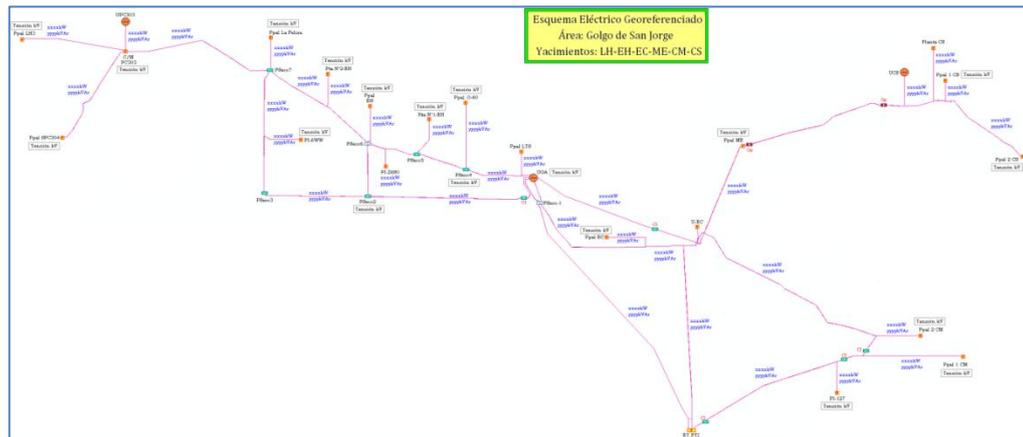


Figura 51: Esquema de la red eléctrica

## VI. INTEGRIDAD DE REMOTOS CONSULTADOS POR EL SCADA

La búsqueda de una solución estándar e integral a los dispositivos de la red y los diferentes sistemas, derivó en la posibilidad de utilizar el **Protocolo Simple de Administración de Red - SNMP** como herramienta de control de comunicación de los nodos remotos del OPC Server.

Dependiendo del estado de la radio remota, se ejecuta una función que crea una escritura binaria sobre el campo “enabled” del servidor OPC, permitiendo bloquear el uso de los remotos que no contestan debido a fallas de comunicación o cortes de energía.

El hecho de consultar el estado de las remotas, no genera tráfico ni colas a nivel de OPC, logrando la estabilidad y el normal funcionamiento del servicio en el servidor, ya que durante el periodo de SCAN los remotos consultados son solo los activos.

Si la comunicación se restablece, el driver SNMP del remoto contesta con el nuevo estado, y esta condición es utilizada por la misma función para habilitar nuevamente el dispositivo en el servidor OPC.

Siguiendo esta línea de pensamiento, se comenzó a investigar como lograr la funcionalidad esperada utilizando las herramientas instaladas en la compañía.

### VI.I PROTOCOLO SNMP

Es un protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red. Permite a los administradores supervisar el funcionamiento de la red, buscar y resolver sus problemas, y planear su crecimiento.

SNMP también puede trabajar con dispositivos no-SNMP utilizando agentes *proxy*. Un agente *proxy* es un conversor de protocolo que traduce las órdenes SNMP a las comprensibles por el protocolo de gestión propio del dispositivo. Actualmente SNMP está soportado en muchos sistemas como PC's, switches, servidores, etc.

SNMP se basa en un sistema de **petición-respuesta**. La autoridad gestora no es la red como sistema sino una o varias estaciones NMS (por sus siglas en inglés de Sistema Administrador de Red).

La arquitectura SNMP consta de los siguientes componentes:

- **Gestores** (NMS's)
- **Agentes** (nodos administrados)

- **MIB** (base de datos con información)
- **SMI** (administración de la base de datos)
- **Protocolos** (órdenes)

Una Base de Información de Administración (MIB<sup>21</sup>) es una colección de información que está organizada jerárquicamente. Las MIB's son accedidas usando un protocolo de administración de red, como por ejemplo, SNMP.

Un objeto administrado (algunas veces llamado objeto MIB, objeto, o MIB) es uno de cualquier número de características específicas de un dispositivo administrado. Los objetos administrados están compuestos de una o más instancias de objeto, que son esencialmente variables.

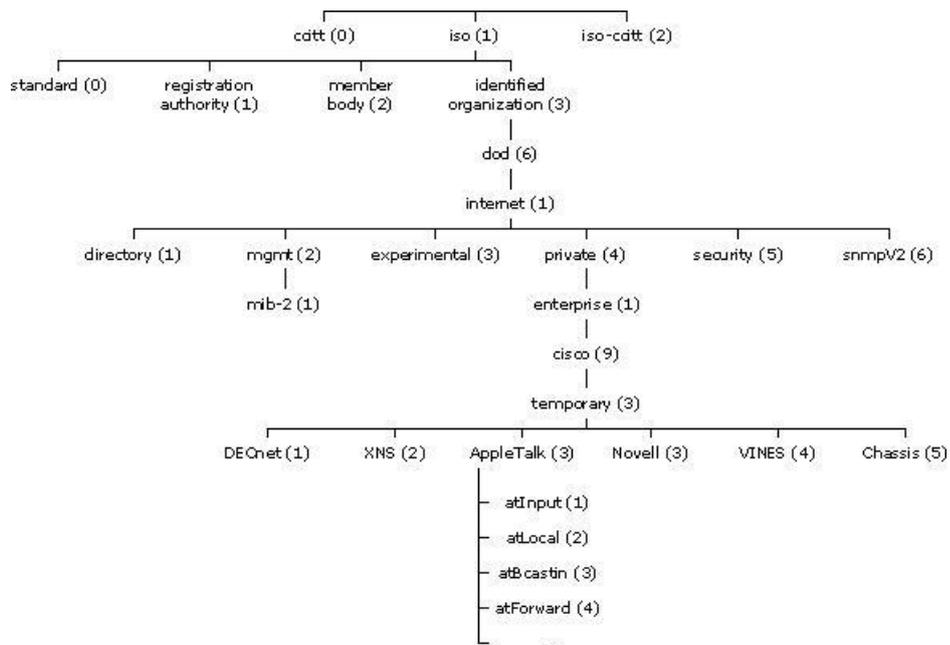


Figura 52: Árbol MIB ilustra las variadas jerarquías asignadas por las diferentes organizaciones

Existen dos tipos de objetos administrados: Escalares y tabulares. Los objetos escalares definen una simple instancia de objeto. Los objetos tabulares definen múltiples instancias de objeto relacionadas que están agrupadas conjuntamente en tablas MIB.

<sup>21</sup> Management Information Base

Un identificador de objeto (*object ID*) identifica únicamente a un objeto administrado en la jerarquía MIB. La jerarquía MIB puede ser representada como un árbol con una raíz anónima y los niveles, que son asignados por diferentes organizaciones, como se muestra en la figura 52.

Los identificadores de los objetos ubicados en la parte superior del árbol pertenecen a diferentes organizaciones estándares, mientras los identificadores de los objetos ubicados en la parte inferior del árbol son colocados por las organizaciones asociadas.

Los vendedores pueden definir ramas privadas que incluyen los objetos administrados para sus propios productos. Las MIB's que no han sido estandarizadas típicamente están localizadas en la rama de los árboles.

El objeto administrado *atInput* podría ser identificado por el nombre de objeto *iso.identified-organization.dod.internet.private.enterprise.cisco.temporary.Ap-pleTalk.atInput* o por el descriptor de objeto equivalente *1.3.6.1.4.1.9.3.3.1*.

El corazón del árbol MIB se encuentra compuesto de varios grupos de objetos, los cuales en su conjunto son llamados *mib-2*.

Los grupos son los siguientes: System (1);Interfaces (2);AT (3);IP (4);ICMP (5);TCP (6);UDP (7);EGP (8);Transmission (10);SNMP (11).

Es importante destacar que la estructura de una MIB se describe mediante el estándar ASN.1 (Abstract Syntax Notation One).

SNMP utiliza el protocolo UDP, para evitar recarga de la red con protocolos orientados a la conexión, y los puertos utilizados son 161 y 162

### **VI.I.I Utilización de SNMP de la radio de última milla.**

Una de las características esenciales de la red de automatización es la estandarización de los equipos de radio.

Esto permite abarcar un amplio porcentaje de los remotos dentro del sistema y sobre todo tener en cuenta para futuros desarrollos no solamente los equipos de radio de los pozos del OPC de Matrikon, sino también el resto de las instalaciones automatizadas, permitiendo una optimización generalizada a continuación se listan los OIDs disponibles en las MIBs para las radios MDS Inet 900 Spred Spectrum Radios (Inc., 2002) y que son adecuadas a los objetivos de este trabajo:

1.3.6.1.4.1.4130.2.1.1.2.3.2.0 Indica la condición de la radio remota frente a su acces point, los posibles valores son los siguientes:

Associated, scanning, reached

## VI.II DESCRIPCIÓN LÓGICA DEL SISTEMA

La composición lógica es un modelo de definición con una entrada y dos posibles salidas, lo que permite realizar el código en cualquier herramienta que combine el servicio de SNMP con el de cliente de OPC.

Una vez obtenido el estado, se aplica la operación lógica en la herramienta OPC cliente, escribiendo sobre el TAG “Enabled” del dispositivo de árbol el estado que corresponda.

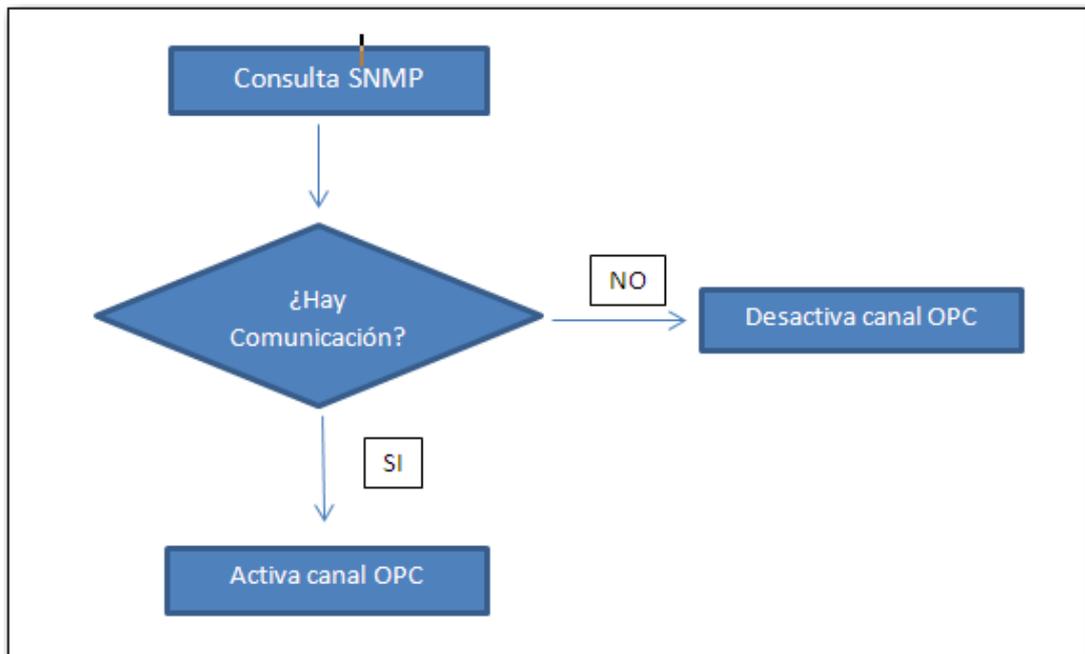


Figura 53: Diagrama de flujo de decisión

El funcionamiento de los 3 elementos, es directo y no se contemplan elementos de control entre la comunicación de las capas, el HMI se alimenta de la información recolectada por el OPC de las remotas de campo.

El desarrollo combina con estos tres niveles la lógica sencilla de verificación de comunicación con los dispositivos y optimiza el barrido de campo.

Esto se implementa agregando a estos 3 componentes el módulo SNMP para consultar si la comunicación con los dispositivos de campo se puede realizar, y un script que determina la escritura del canal OPC para habilitar y deshabilitar el dispositivo que

corresponda. La propiedad “Enabled” ya está implementada en el driver OPC, por lo que se puede utilizar sin realizar ninguna modificación al software que ya está instalado y funcionando, tal como muestra la figura 54.

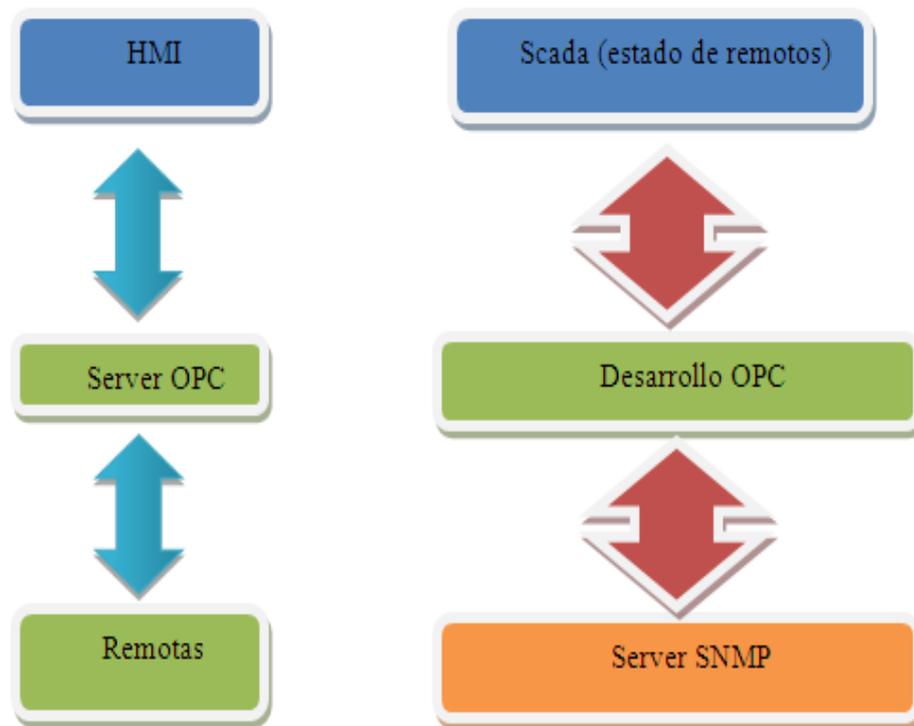


Figura 54: Diagrama de Scadas existentes – el proyecto integrara los dos conceptos

## VII MODELO FINAL DEL SISTEMA

El modelo final describe la interacción de los componentes.

Lo novedoso de este conjunto de acciones es que están interactuando diferentes herramientas estándares optimizadas para el mismo objetivo, que en definitiva es utilizar solo los recursos necesarios de servicios de servidor y también de comunicaciones, evitando las colas de espera y los potenciales errores en la capa de visualización de los procesos de usuario (HMI) tal como muestra la figura 55.

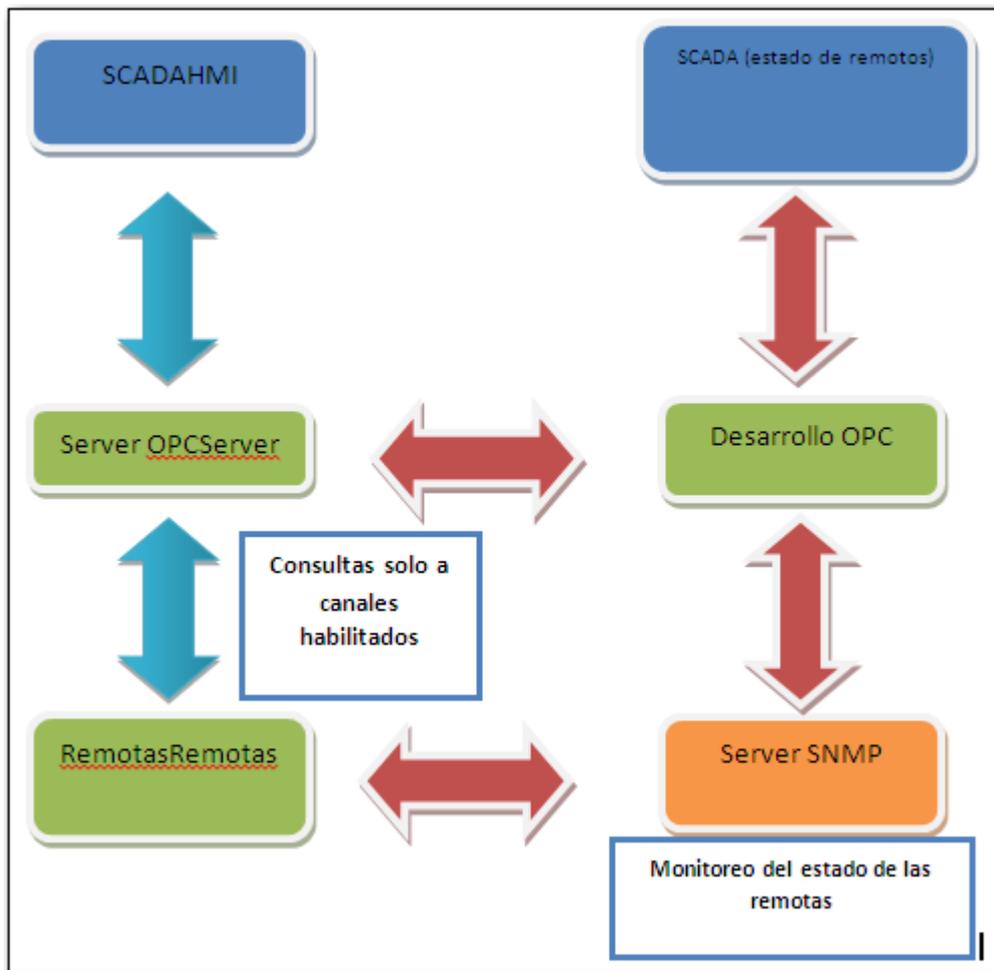


Figura 55: Diagrama final del sistema SCADA

## VII.I MÓDULO DE CONFIGURACIÓN DE SNMP EN ICONICS

Dentro del paquete de herramientas de Iconics se encuentra un módulo que permite la configuración de dispositivos IP con SNMP.

Al darlos de alta en este módulo, pasan a estar disponibles como dispositivos orígenes de datos, es decir que pueden ser consultados los estados desde otros módulos de Iconics.

La configuración es simple, solo se debe conocer el tipo de dispositivo, la dirección IP y se puede configurar el tiempo entre consultas.

La herramienta permite organizar en una estructura de árbol y folders para facilitar la búsqueda desde otras aplicaciones.

Con esta herramienta se crea un dispositivo por cada radio INET 900 que será consultada y se utiliza el OID correspondiente al estado.

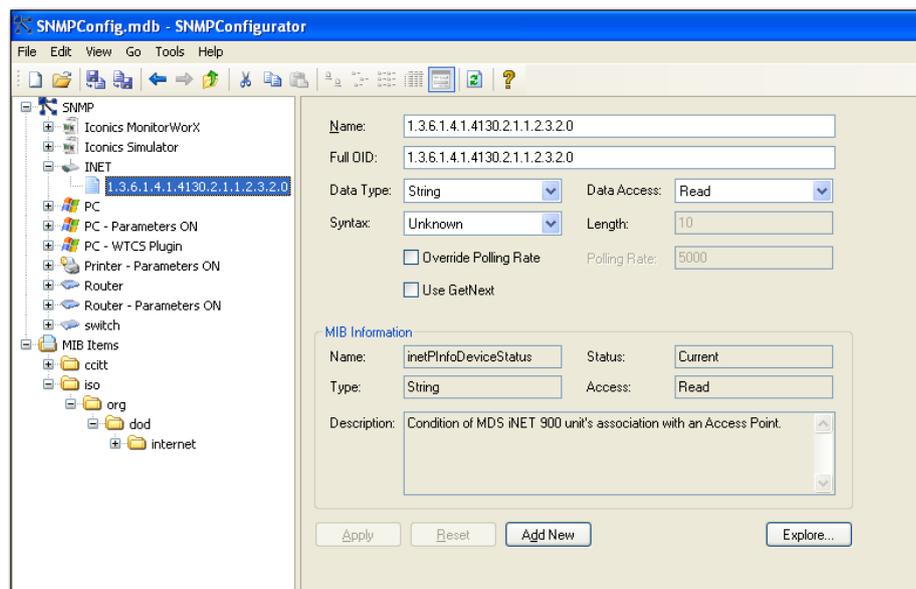


Figura 56: Configuración del dispositivo SNMP

## VII.II MÓDULO DATAWORX DE ICONICS

Esta aplicación permite acceder a diferentes orígenes de datos, la misma se utiliza como herramienta de lectura de SNMP, mediador y ejecutor del comando IF y como cliente OPC de Matrikon para poder habilitar y deshabilitar el estado del canal correspondiente a cada controlador.

En el módulo de lectura de DataWorx se indica como origen de datos los valores de comunicación configurados en el SNMP server.

En la salida de escritura, se arma la expresión que determina la escritura en el estado de canal del OPC de Matrikon, cuando el error de comunicación SNMP está activado, esta condición de IF escribe el “disable” del canal de Matrikon.

A su vez este módulo alimenta las alarmas en Multi Media Exchange para el envío de emails, el GraphWorx para la animación de las pantallas y el TrendWorx para las tendencias.

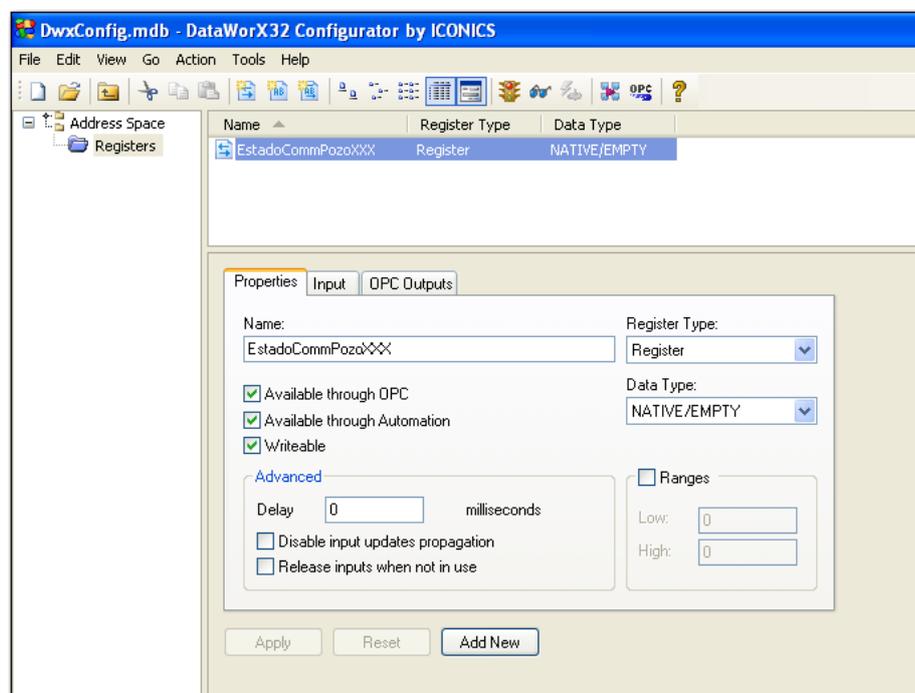


Figura 57: Configuración de DataWorx

Para nuestro caso se implementa un nuevo registro “EstadoCommPozoXXX”, como vemos en la figura 57, el cuál tiene dos partes importantes, por un lado la lectura del tag SNMP tal como se describe en la figura 58:

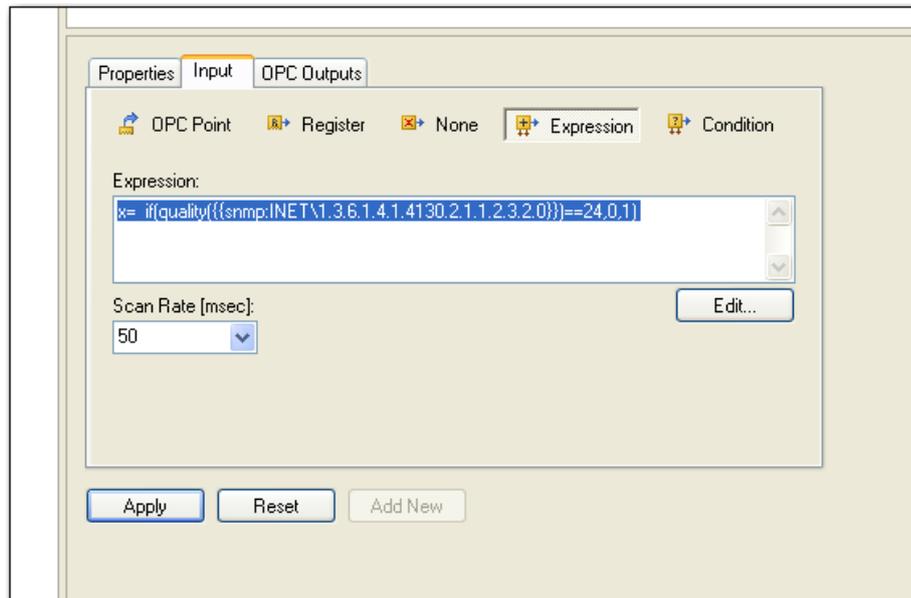


Figura 58: Configuración de DataWorx

Este comando IF, permite establecer dos valores para la variable X, donde si la comunicación al tag SNMP es buena, la variable X es igual a 1 y si la comunicación no es establecida, el valor de X es igual a 0.

En la tabla de la figura 59 se pueden observar los diferentes valores de calidad del dato leído con DataWorx.

Esto nos permite consultar cualquier valor de SNMP de la radio y utilizar la calidad de la respuesta como para saber el estado de las comunicaciones.

Para el caso se utilizará el código 24, como se ve en la figura 58, para determinar fallas de comunicación con el remoto, por lo tanto si esto sucediera, evaluando con un IF, podemos habilitar o deshabilitar el remoto en el árbol OPC de Matrikon.

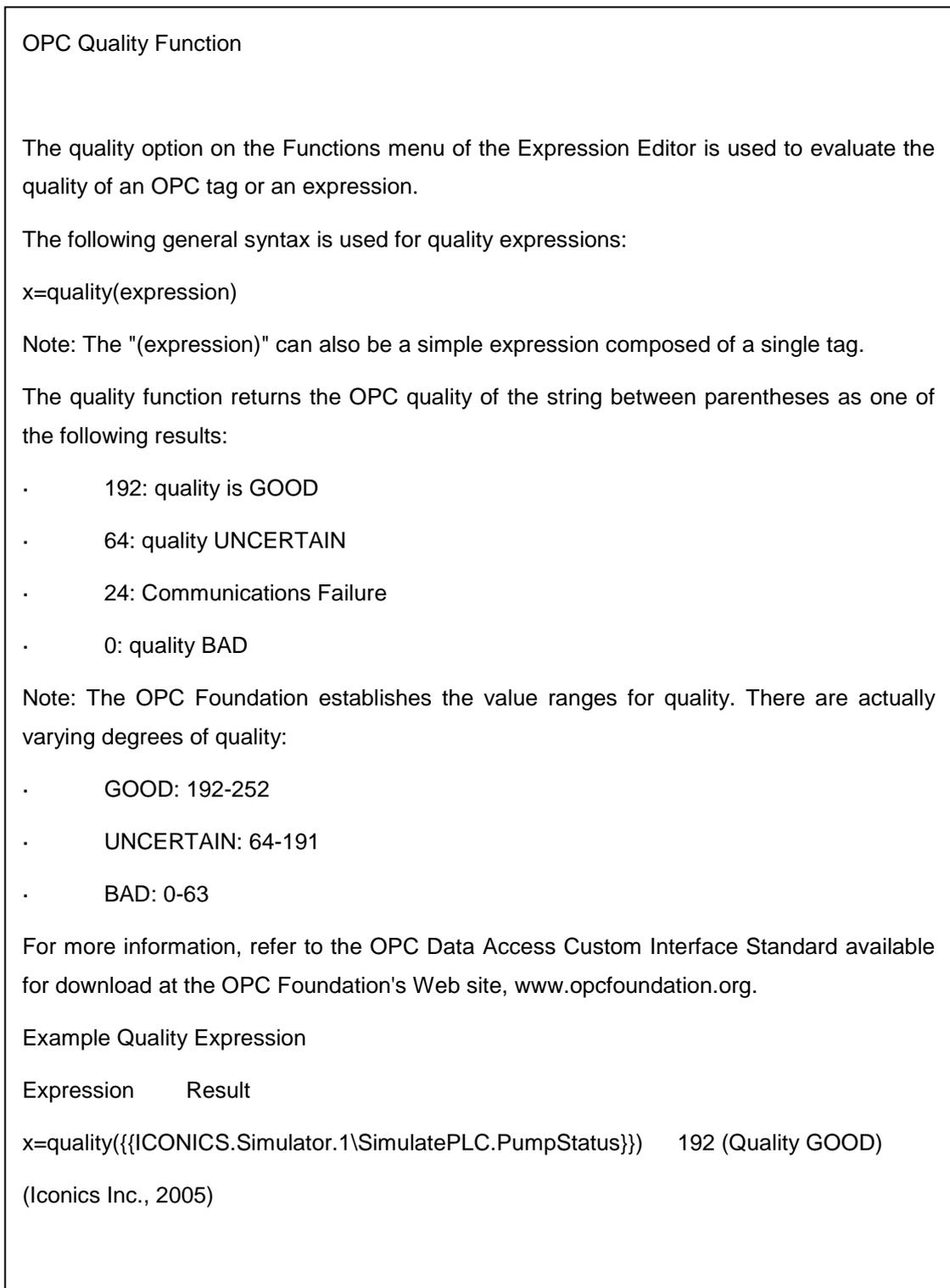


Figura 59: Función OPC “Quality”

Este valor de X es el que se establece como salida de escritura al TAG Enabled del canal OPC correspondiente al PozoXXX:

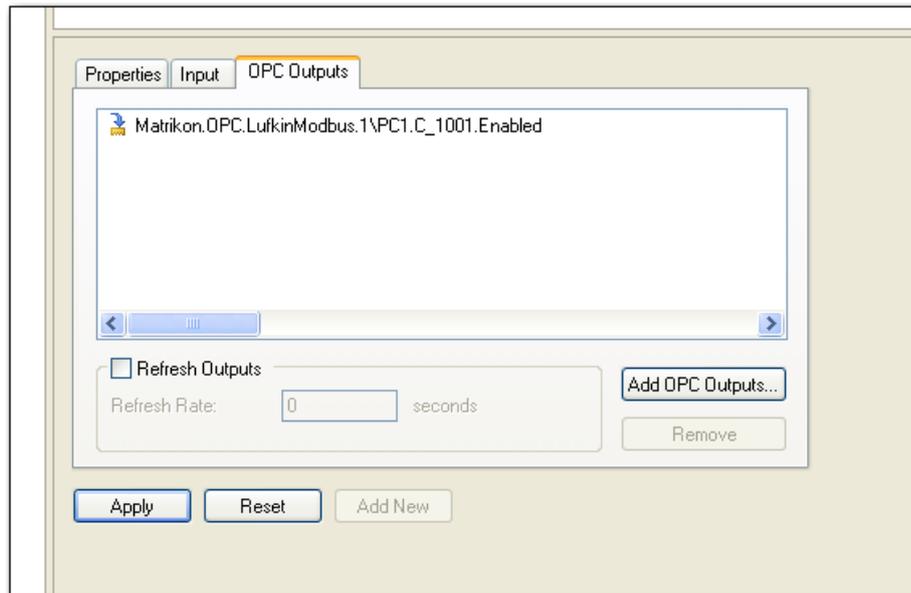


Figura 60: Configuración de DataWorx

### VII.III USO DEL DESARROLLO DESDE EL ENTORNO DE USUARIO

Los módulos antes descritos son los componentes del sistema, para poder ser utilizados y accedidos por los usuarios, estos servicios se encuentran disponibles con una interfaz web, denominada por Iconics WEB HMI.

Para la publicación de este servicio la aplicación se encuentra instalada como parte del conjunto de aplicaciones existentes, es decir que el usuario puede acceder intuitivamente al entorno de trabajo, sin necesidad de depender de un escenario independiente.

Las funcionalidades principales se encuentran disponibles para los usuarios que tienen acceso a la aplicación de los pozos.

Como primera medida, se debe dar acceso al usuario en el módulo de Security, utilizando el campo CUSTOM

El módulo WEBHMI está disponible en una dirección web dentro de la red de Sinopec (Web HMI de Cañadon Seco y Piedras Coloradas, 2012).

En el momento de conexión la página de inicio publicada con Internet Information Services de Windows, posee un script que verifica la existencia del usuario que accede en la base de datos de seguridad de Iconics, con este sistema se asocia la sesión a los permisos que tenga habilitado el usuario en el sistema SCADA.

Posteriormente se puede seleccionar la grilla de pozos correspondiente al yacimiento que el usuario quiera consultar.

En cada uno de estos pozos se puede visualizar el estado del canal, las alarmas correspondientes y la hora de cada evento de desconexión.

También desde el resumen de alarmas, se pueden visualizar los eventos agrupados por tipo de evento, como por ejemplo los de comunicaciones.

A continuación se explican brevemente cada uno de estos módulos, utilizados como parte del sistema de monitoreo.

#### **VII.IV MÓDULO GRAPHWORX**

El módulo GraphWorx es el que permite armar el FrontEnd de operaciones, es decir el panel de visualización para los usuarios.

Este módulo utiliza para la animación de los objetos los datos originados por SNMP y DataWorx, pudiendo integrar también los datos de las alarmas con objetos AlarmWorx y tendencias con el módulo TrendWorx.

En ambos casos estos módulos permiten la personalización en runtime, pudiendo ajustar los tiempos de visualización, aplicar cambios en el diseño, y también ajustes para utilizar desde la web.

Para este proyecto se complementa la imagen original de los datos de pozo y se alinea la información correspondiente al tag SNMP a las pantallas de resumen general de pozos, integrando la nueva funcionalidad al Scada existente.



Figura 61: Pantalla de resumen de alarmas de pozos en el HMI de Iconics

Aquí en la figura 61 se puede ver un ícono por pozo comunicado.

El color de cada pozo varía dependiendo del estado de alarma que tenga:

Verde: estado normal sin alarmas.

Ámbar: Alarma no crítica propia del controlador de pozo.

Rojo: Alarma crítica propia del controlador de pozo.

Blanco: Pozo sin comunicación, aquí se asocia el estado del canal por SNMP o también por otras causas propias del controlador, por ejemplo radio OK y controlador quemado.

## VII.V MÓDULO ALARMWORX

El módulo AlarmWorx permite configurar alarmas e historizar los estados o cambios de estados en una base de datos SQL Server, lo cual deja disponible la historia de los valores de SNMP.

Los objetos de visualización de GraphWorx permiten animar los cambios de colores de los componentes gráficos para relacionar los valores SNMP con los colores del FrontEnd de la aplicación.

Los datos de alarmas son almacenados en una Base de Datos común a todos los dispositivos que forman parte del SCADA, esta base de datos SQL Server tiene un formato particular que es heredado de la optimización que se necesitaba para aprovechar al máximo el espacio requerido en los archivos Access y permite definir el tiempo que se van a guardar los datos y la cantidad de tablas de cada variable.

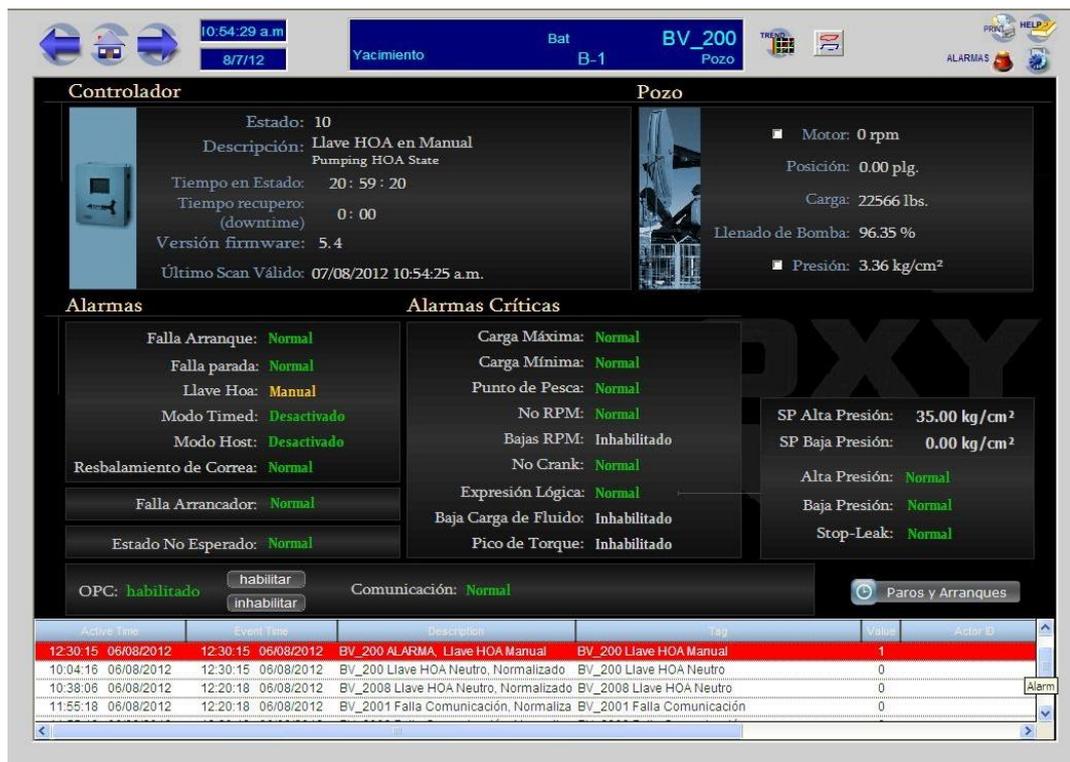


Figura 62: Pantalla de datos detallados del pozo seleccionado

Para este desarrollo se empleara la alarma de comunicación por pérdida de enlace con la radio remota, de esta manera se puede saber la hora y la causa determinada por falla y desconexión de SNMP, tal como se muestra en la figura 62.

## VII.VI MÓDULO DE TRENDWORX

El módulo TrendWorx permite configurar el tiempo de resguardo o las reglas para realizar las escrituras con el valor de los datos leídos desde el SMNP Server.

Estos valores son resguardados en una base de datos SQL Server, con tablas que permiten configurar la cantidad y el tiempo de resguardo de los datos.

Estos datos son accesibles con los módulos insertables de tendencias en el FrontEnd de usuarios.

La conexión del cliente con la base de datos de historización es a través de ODBC.

Para el desarrollo se utilizan tendencias que indican la cantidad de pozos asociados a cada AP, esto permite aseverar el problema de desconexión masiva.

Este dato se obtiene también por SNMP de los Acces Point de la red.

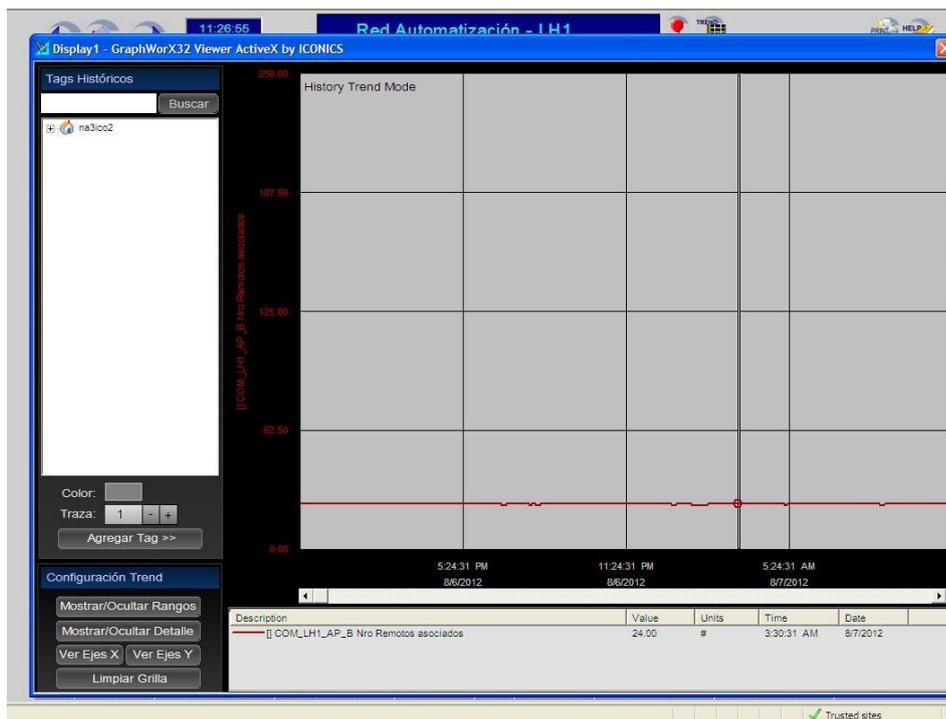


Figura 63: Ejemplo de tendencia o histórico de variable analógica

## VIII PRUEBAS DE CAMPO

### VIII.I CONFIGURACIÓN DE HARDWARE Y SOFTWARE

Se eligió un AP<sup>22</sup> para las pruebas en la red de campo de Piedras Coloradas para realizar pruebas de ancho de banda y funcionamiento, se seleccionó uno que posee conectados exclusivamente controladores de pozos.

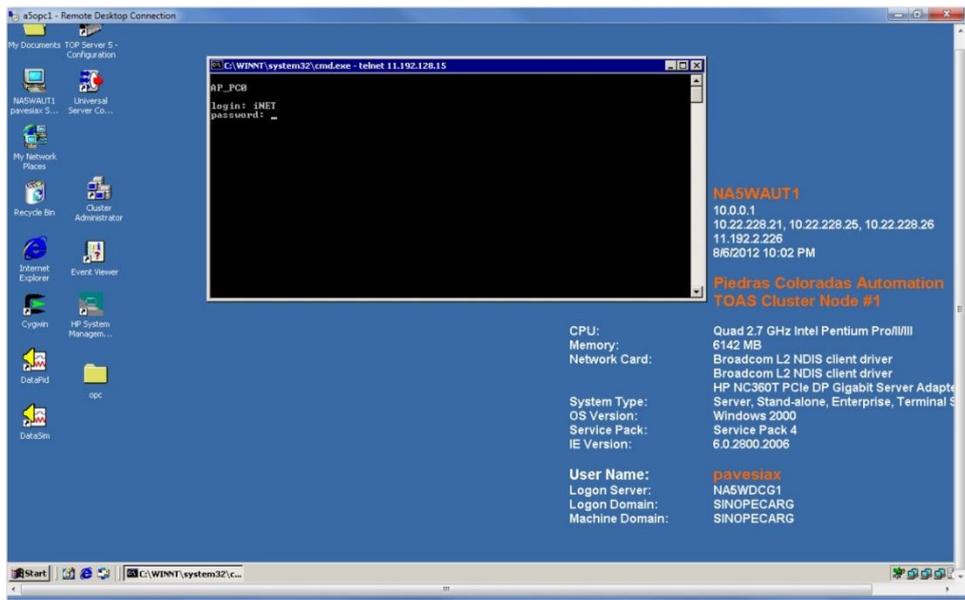


Figura 64: Ingreso a AP0 Acces Point Piedras Coloradas

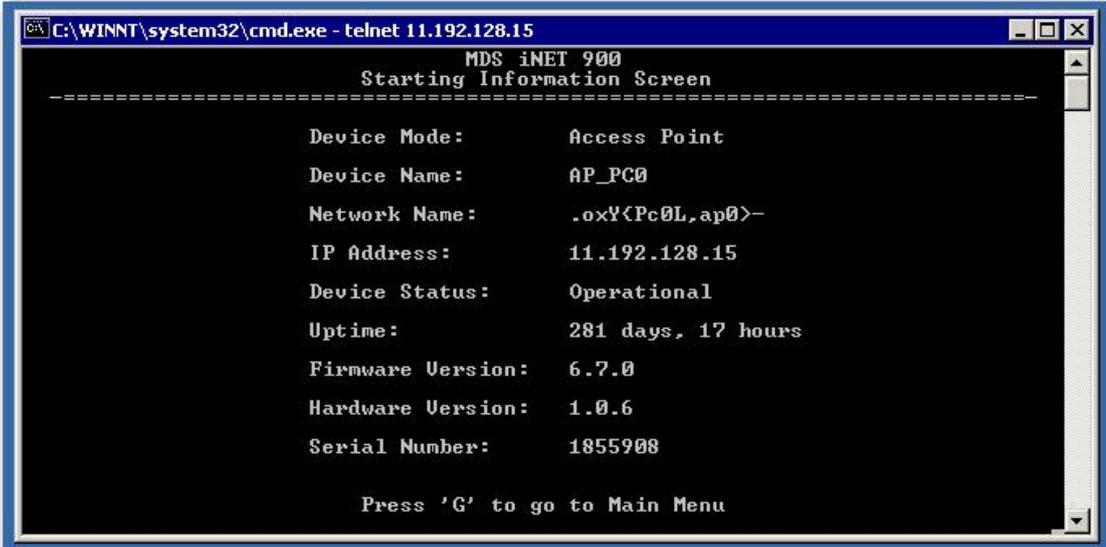
El ingreso a la consola de pozos se realiza por telnet, ya que el firmware de estos equipos permite el acceso remoto a través de su dirección IP.

Ingresando el password, se accede a una pantalla de Información general del equipo, figura 65, donde podemos observar los siguientes campos:

- Device Node: Acces Point (ya que los mismos equipos también pueden ser configurados como remotos o Gateway series).
- Device Name: AP\_PCO String que define el nombre del dispositivo.
- Network Name: este nombre se utiliza como “dominio” entre el AP y los dispositivos remotos, es decir que este AP solo recibirá como remotos aquellos que tengan el mismo nombre de red y si estuviese configurado requiere de frase de encriptación.

<sup>22</sup> Acces Point Inet 900

- IP Address: Dirección IP del dispositivo.
- Device Status: estado del AP, puede ser Operational o Down.
- Uptime: Tiempo desde el último encendido.
- Firmware Version: Versión de firmware instalado, el proveedor envía actualizaciones cuando optimiza los programas.
- Hardware Version: versión final de hardware.
- Serial number: Número de serie de la radio.

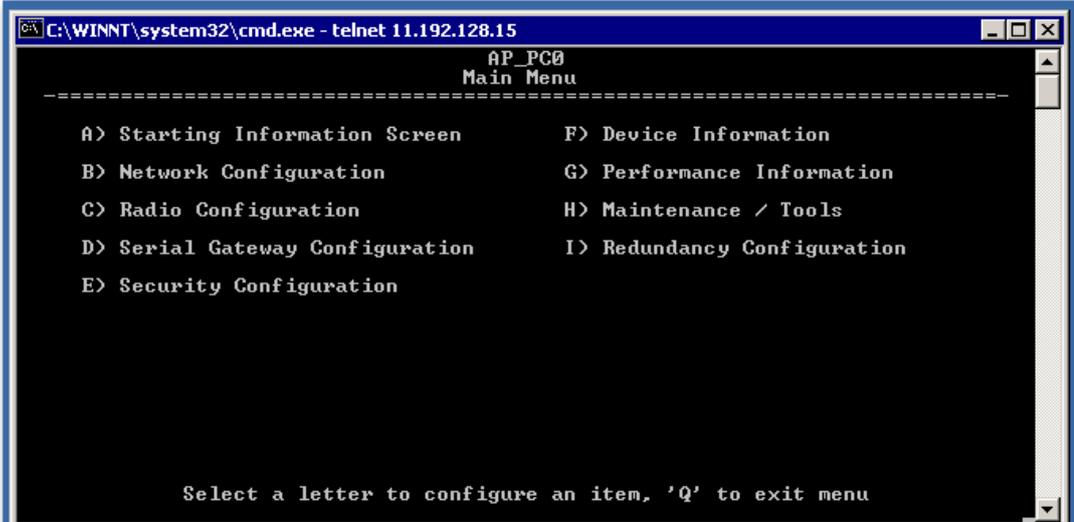


```
C:\WINNT\system32\cmd.exe - telnet 11.192.128.15
MDS iNET 900
Starting Information Screen
-----
Device Mode:      Access Point
Device Name:      AP_PC0
Network Name:     .oxY<Pc0L,ap0>-
IP Address:       11.192.128.15
Device Status:    Operational
Uptime:           281 days, 17 hours
Firmware Version: 6.7.0
Hardware Version: 1.0.6
Serial Number:    1855908

Press 'G' to go to Main Menu
```

Figura 65: Información de ingreso en el AP

Posteriormente con “G” se accede al menú principal.

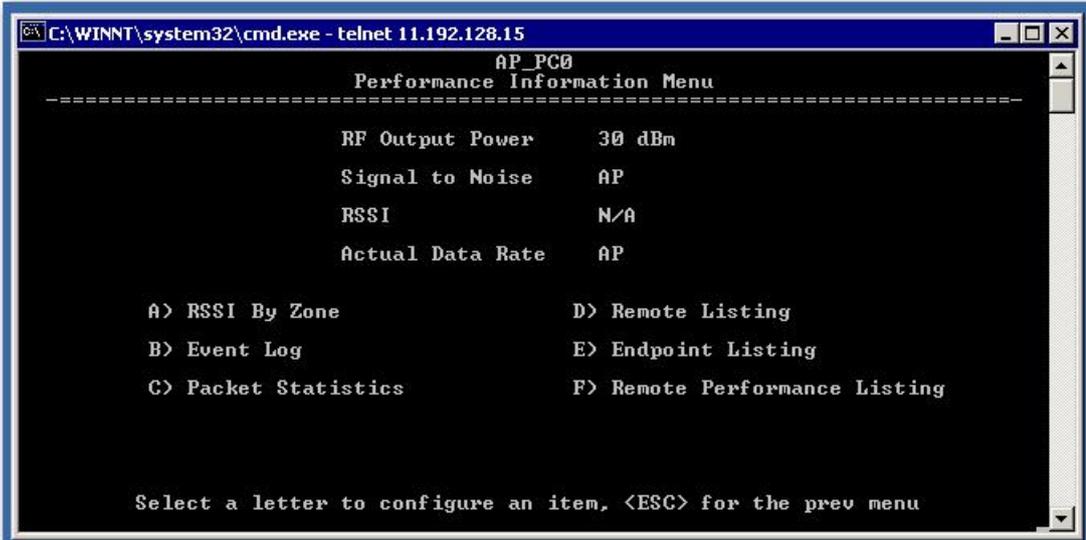


```
C:\WINNT\system32\cmd.exe - telnet 11.192.128.15
AP_PC0
Main Menu
-----
A) Starting Information Screen      F) Device Information
B) Network Configuration           G) Performance Information
C) Radio Configuration             H) Maintenance / Tools
D) Serial Gateway Configuration    I) Redundancy Configuration
E) Security Configuration

Select a letter to configure an item, 'Q' to exit menu
```

Figura 66: Menú Principal de la radio Inet AP

Posteriormente para identificar los remotos asociados a este Acces Point seleccionamos el menú “G”, Performance Information.



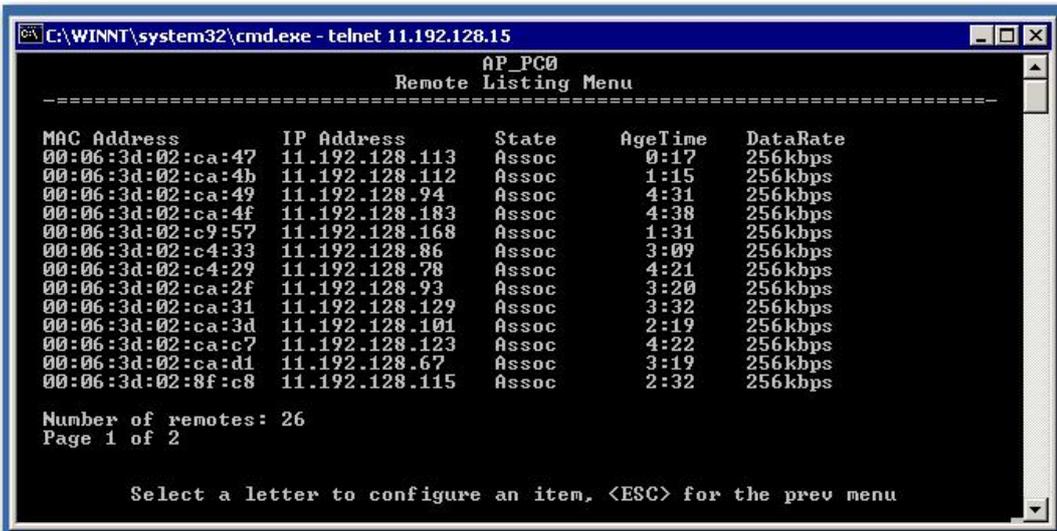
```
C:\WINNT\system32\cmd.exe - telnet 11.192.128.15
AP_PC0
Performance Information Menu
-----
RF Output Power      30 dBm
Signal to Noise      AP
RSSI                  N/A
Actual Data Rate     AP

A) RSSI By Zone           D) Remote Listing
B) Event Log              E) Endpoint Listing
C) Packet Statistics      F) Remote Performance Listing

Select a letter to configure an item, <ESC> for the prev menu
```

Figura 67: Menú de Información de Performance

Dentro del menú de Performance de la figura 67, con “D” podemos ingresar al listado de las remotas que están asociadas al AP, que se muestra en la figura 68.



```
C:\WINNT\system32\cmd.exe - telnet 11.192.128.15
AP_PC0
Remote Listing Menu
-----
MAC Address      IP Address      State      AgeTime      DataRate
00:06:3d:02:ca:47 11.192.128.113 Assoc      0:17      256kbps
00:06:3d:02:ca:4b 11.192.128.112 Assoc      1:15      256kbps
00:06:3d:02:ca:49 11.192.128.94  Assoc      4:31      256kbps
00:06:3d:02:ca:4f 11.192.128.183 Assoc      4:38      256kbps
00:06:3d:02:c9:57 11.192.128.168 Assoc      1:31      256kbps
00:06:3d:02:c4:33 11.192.128.86  Assoc      3:09      256kbps
00:06:3d:02:c4:29 11.192.128.78  Assoc      4:21      256kbps
00:06:3d:02:ca:2f 11.192.128.93  Assoc      3:20      256kbps
00:06:3d:02:ca:31 11.192.128.129 Assoc      3:32      256kbps
00:06:3d:02:ca:3d 11.192.128.101 Assoc      2:19      256kbps
00:06:3d:02:ca:c7 11.192.128.123 Assoc      4:22      256kbps
00:06:3d:02:ca:d1 11.192.128.67  Assoc      3:19      256kbps
00:06:3d:02:8f:c8 11.192.128.115 Assoc      2:32      256kbps

Number of remotes: 26
Page 1 of 2

Select a letter to configure an item, <ESC> for the prev menu
```

Figura 68: Listado de remotos activos en AP0

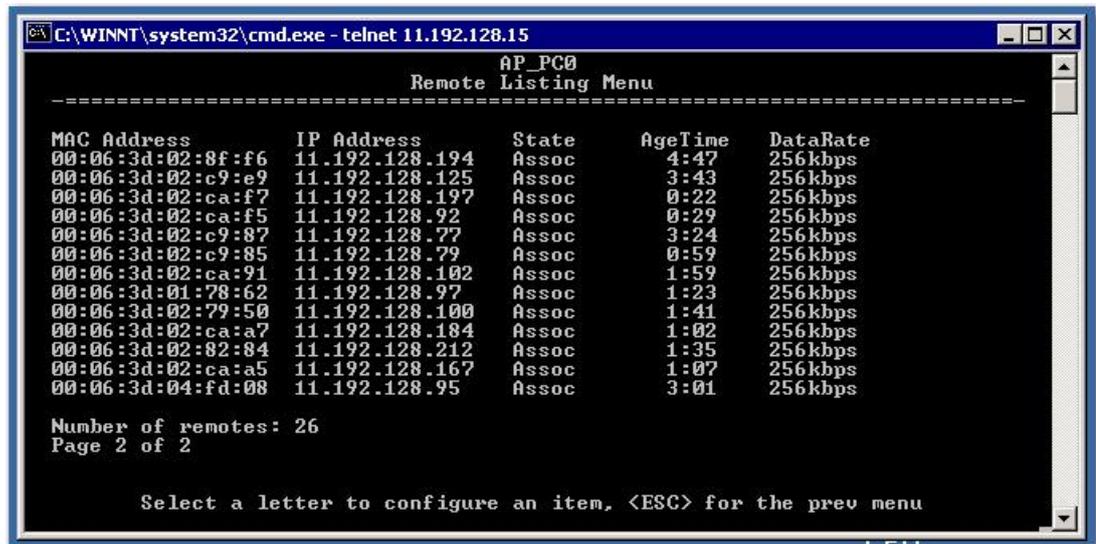


Figura 69: Listado de remotos activos en AP0 (2da página)

Con este detalle de los remotos asociado al AP0, se dieron de alta los dispositivos en el software de configuración de SNMP, como se muestra en la figura 70.

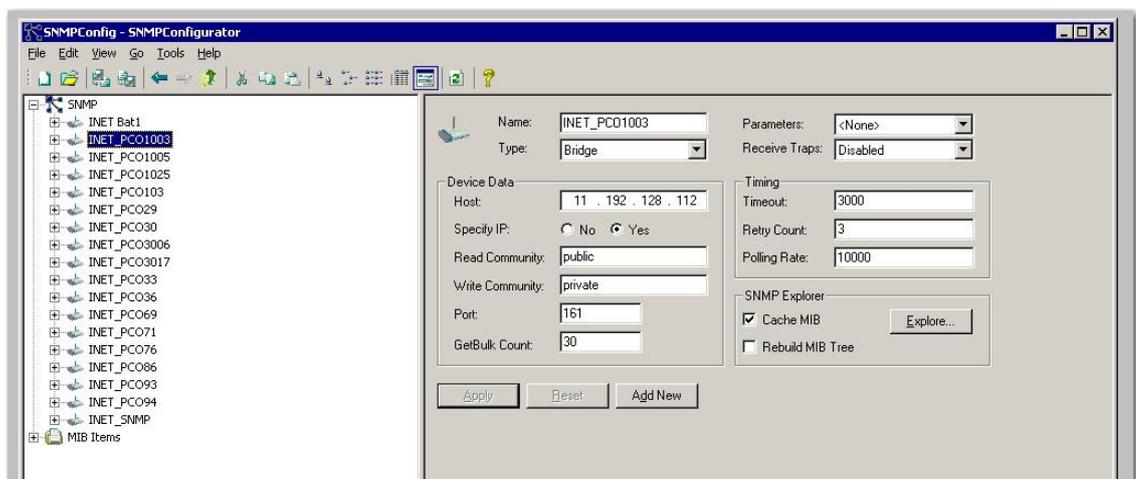


Figura 70: Consola de management de SNMP en Iconics

Cada uno de los dispositivos se agregó a la consola, a su vez se apuntó al OID correspondiente al estado de asociación, para tener de referencia el estado de la comunicación entre el remoto y el AP0.

Para cada uno de los remotos se pueden configurar los siguientes parámetros:

- Name: Nombre del dispositivo: se puso como nombre el nombre del pozo.
- Type: Tipo de dispositivo a consultar, en este caso se seleccionó Bridge.
- Parameters: Parámetros: No se definieron parámetros especiales.

- Receive Traps: no se reciben traps de dispositivos.
- Datos del remoto:
  - Host: Dirección IP del remoto.
  - Read Community: nombre de la comunidad de lectura, este parámetro debe configurarse también en el remoto.
  - Write Community: nombre de la comunidad de escritura, este parámetro debe configurarse también en el remoto.
  - Port: puerto del remoto donde se accede al protocolo SNMP.
  - Get Bulk Count: 30. Es una modalidad de consulta por bloques de información que no usaremos en este caso.
- Timing
  - Timeout: 3000. Tiempo de espera de la comunicación antes de dar como erróneo el intento, esta medido en milisegundos.
  - Retry count: 3. Cantidad de veces que reintentara después de un timeout.
  - Pulling rate: 10000. Tiempo entre cada consulta al dispositivo.
- SNMP EXPLORER:
  - Cache MIB: Busca los valores en la cache del dispositivo.
  - Rebuild MIB Tree: Realiza un discovery en el dispositivo.

Luego de realizar la configuración de los dispositivos se realizó una prueba de escritura sobre el canal del OPC, cargando la función correspondiente en DataWorx y una alarma que acompañe el evento para poder visualizar los cambios de estado.

Para ello se crea un área de tags o (tags ítems) en donde se dan de alta los comandos, pozo por pozo que serán los encargados de realizar la acción, tal como indica la figura 71.

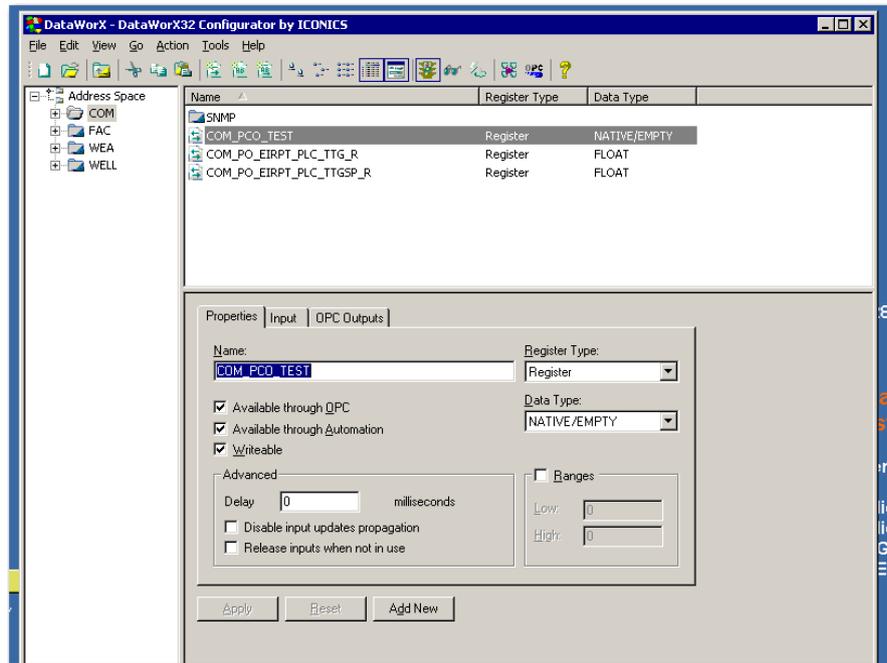


Figura 71: Nuevo tag de acción en DataWorx

Parámetros de configuración para la lectura, se apunta al tag creado en SNMP, como se muestra a continuación en la figura 72:

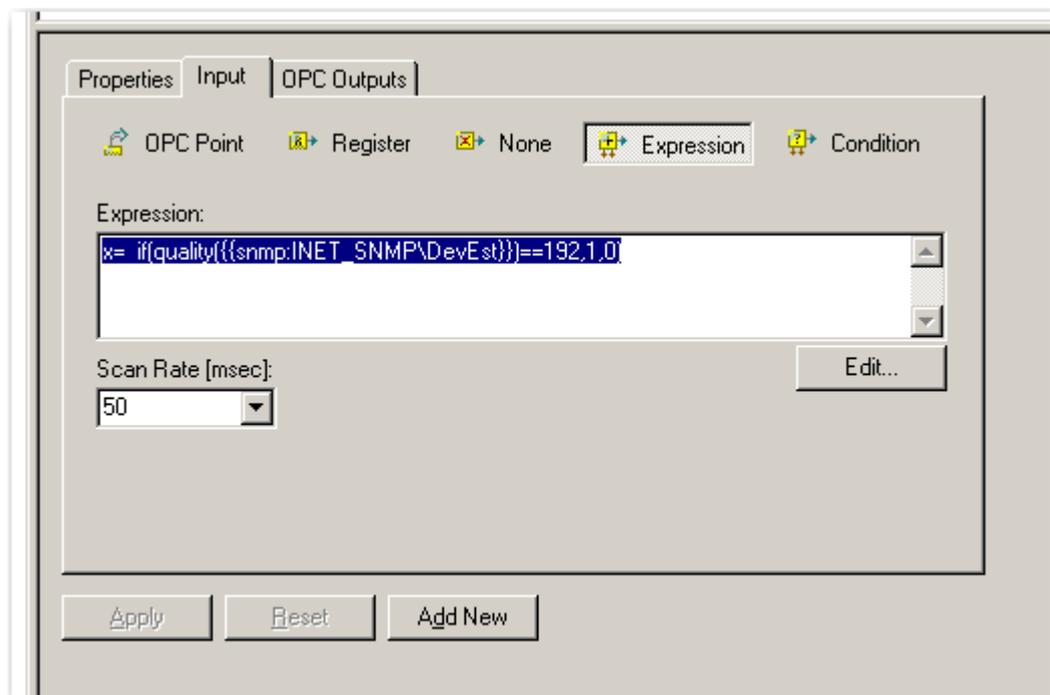


Figura 72: Expresión de evaluación del estado de la remota

Con esta expresión se realizará la escritura de “enabled” o “disabled” del canal de OPC, como se muestra a continuación en la figura 73.

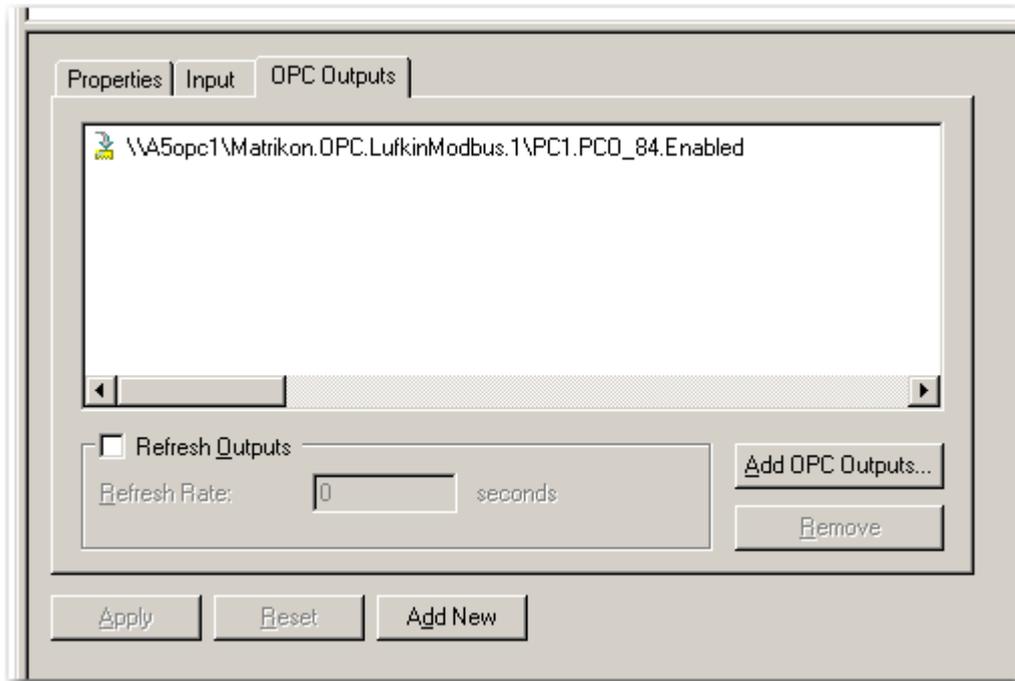


Figura 73: Escritura al canal OPC

Las pruebas de escritura y lectura automática fueron satisfactorias, las mismas se constataron desconectando un remoto de prueba y viendo el resultado de la acción en el interfaz de administración de Matrikon OPC, modificando el estado Enabled como se ve en el check de la figura 74.

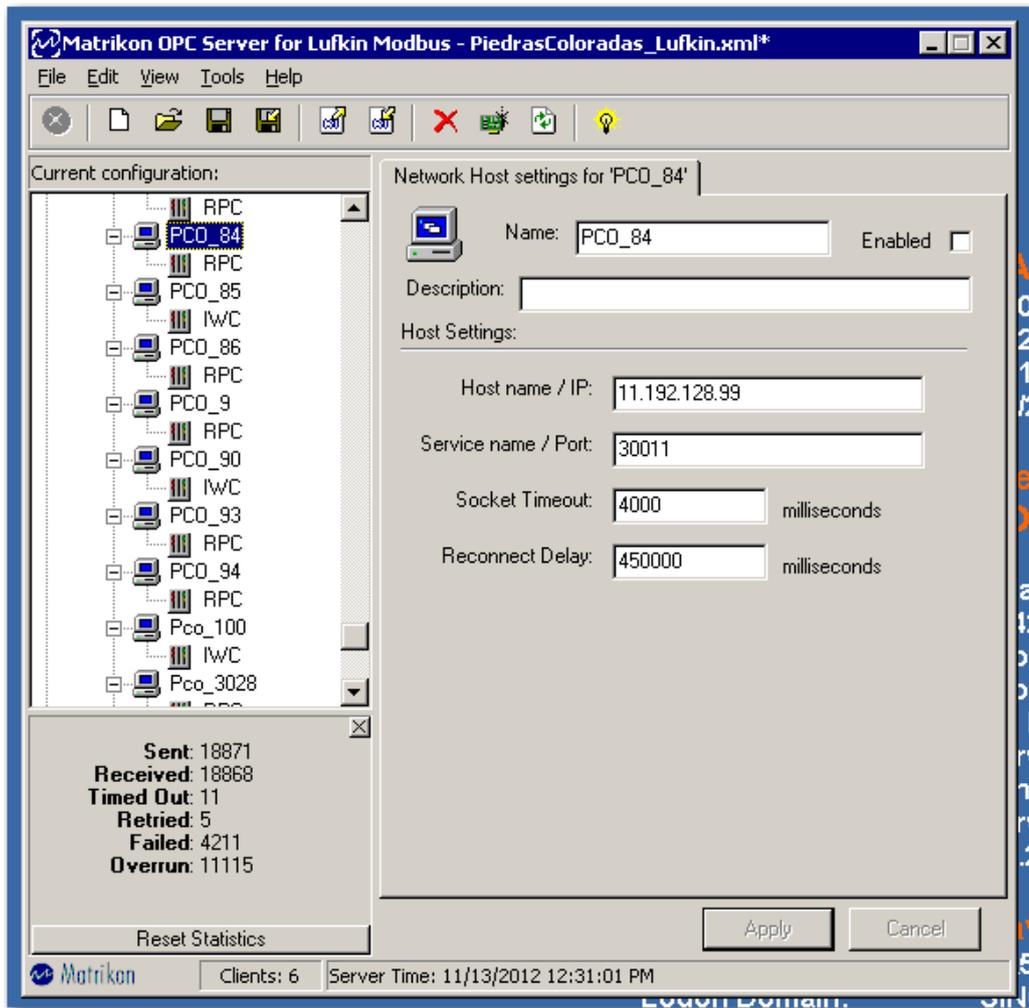


Figura 74: Estado “disabled” del remoto de prueba

También se creó una alarma que se publica en el alarmero general para mantener el aviso de las fallas de conexión en el front end de los usuarios (HMI), como se muestra en la figura 75.

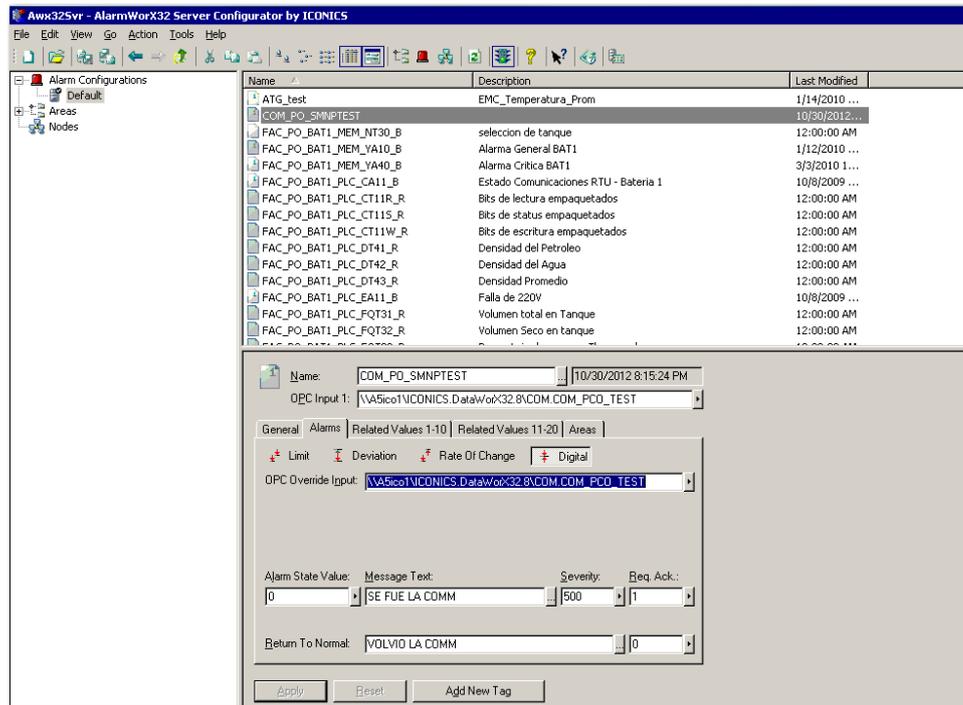


Figura 75: Configuración de los parámetros de alarma

## VIII.II MEDICIONES DE ANCHO DE BANDA

Posteriormente se realizaron pruebas de ancho de banda, para medir el impacto en el AP del monitoreo de los remotos con SNMP.

A continuación veremos los resultados de la implementación del sistema en Piedras Coloradas Mendoza, donde se ejecutó lo siguiente:

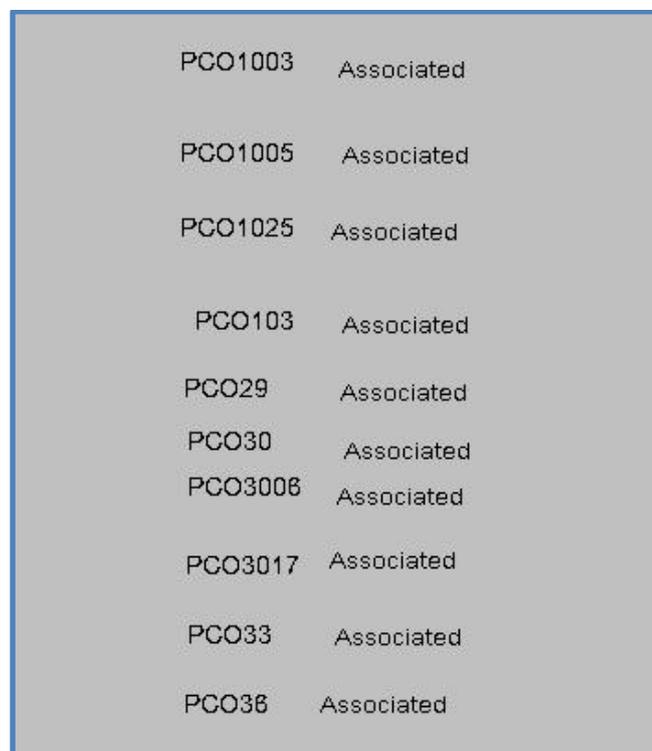
1. Se agregaron los pozos de un Acces Point de Inet 900 al módulo de control de SNMP.
2. Se creo un Display para monitoreo de los estados de los remotos.
3. Se creo la programación de la desconexión de Host por SNMP en Dataworx.
4. Se realizaron pruebas de ancho de banda y respuesta de la red inalámbrica.

Para esto se tomo como medida la respuesta de la configuración de 10 remotos del mismo AP, tomando como referencia los valores de cantidad de paquetes medidos con

WhatsUp Gold<sup>23</sup>, herramienta de monitoreo corporativo de los troncales de la red de automatización.

Se realizaron pruebas configurando diferentes velocidades en el paquete de 10 remotos seleccionados y consultando el estado de estos desde una pantalla de Graphworx apuntando a los estados de SMNP. Cabe destacar que el máximo de paquetes por segundo que manejan los radios AP de INET son 70.

La pantalla solo se alineó con los 10 remotos de prueba, para poder recibir el estado del TAG desde un cliente, realizando la misma tarea que hace el Dataworx, pero agregando la visualización necesaria para las pruebas.



PCO1003	Associated
PCO1005	Associated
PCO1025	Associated
PCO103	Associated
PCO29	Associated
PCO30	Associated
PCO3006	Associated
PCO3017	Associated
PCO33	Associated
PCO36	Associated

Figura 76: Pantalla de estados de remotos en GraphWorx de Iconics (WebHMI)

Primera prueba, los 10 remotos consultados cada 10 segundos.

Durante esta prueba se configuro el scan rate de SNMP a 10000 milisegundos.

---

<sup>23</sup> WhatsUp Gold es un Custom Performance Monitor

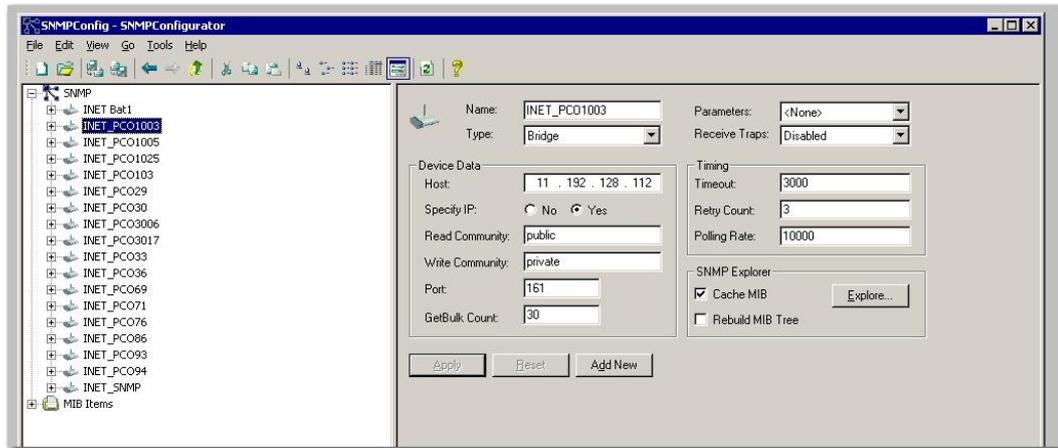


Figura 77: Poling Rate en 10000 milisegundos

En la gráfica podemos observar que si consultamos por períodos de 10 segundos genera muy poca influencia en el tráfico del AP seleccionado agregando solo un par de paquetes más por segundo, ya que el promedio de 6 se movió a 8, tal como muestra la figura 78.

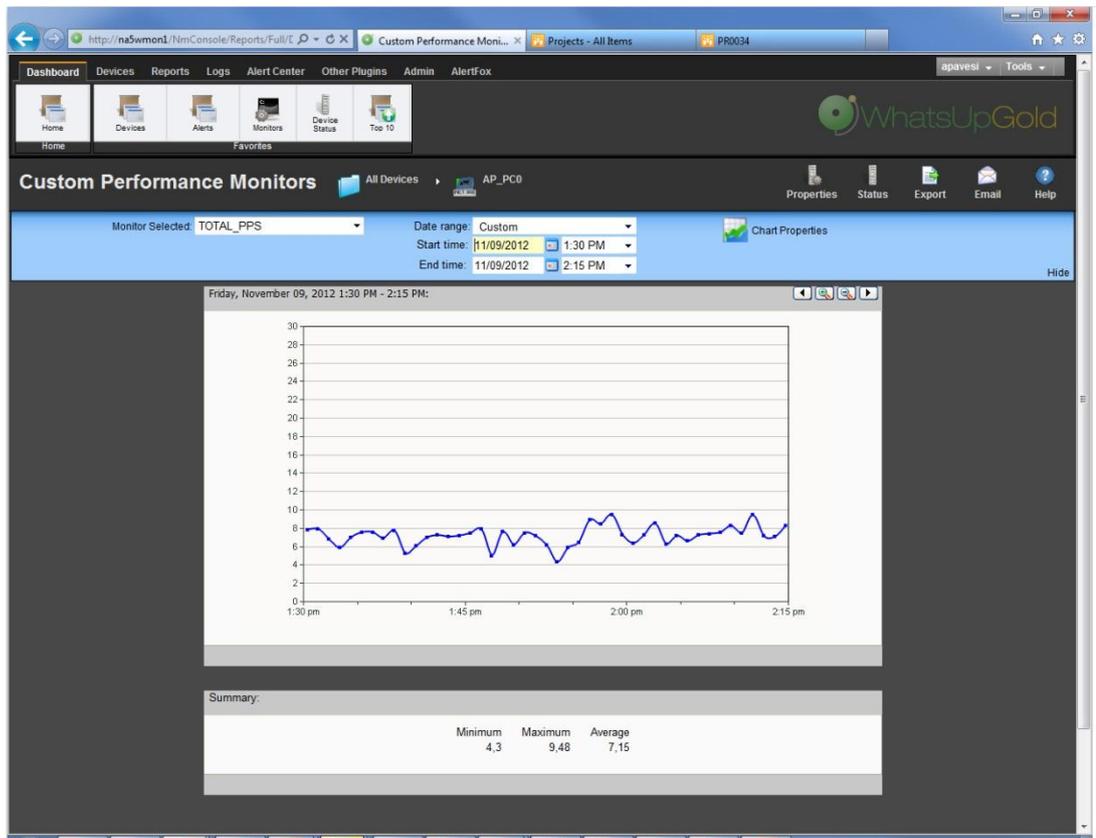


Figura 78: Histórico de paquetes del AP con Polling Rate=10000

Aunque este valor de una muestra cada diez segundos es más que suficiente, teniendo en cuenta que la aplicación en Piedras Coloradas escanea cada 15 minutos, estamos verificando conexión 90 veces entre cada ciclo de scan, por lo que nos aseguramos con alta certeza de que al momento de comenzar la ronda estará actualizado a lo sumo con 10 segundos de retardo la lista de nodos disponibles.

También si tenemos en cuenta que en el clúster de Golfo San Jorge se escanean los pozos cada hora, estaríamos muestreando el estado de la conexión un total de 360 veces entre escaneo.

De igual manera a modo de prueba se fue elevando la velocidad de scan, para poder apreciar el incremento de tráfico según este más recargado el AP con remotos.

Para esto se realizaron pruebas a 100 milisegundos, es decir cada pozo escaneado 10 veces por segundo, logrando superar el máximo de 70 paquetes que acepta el AP.

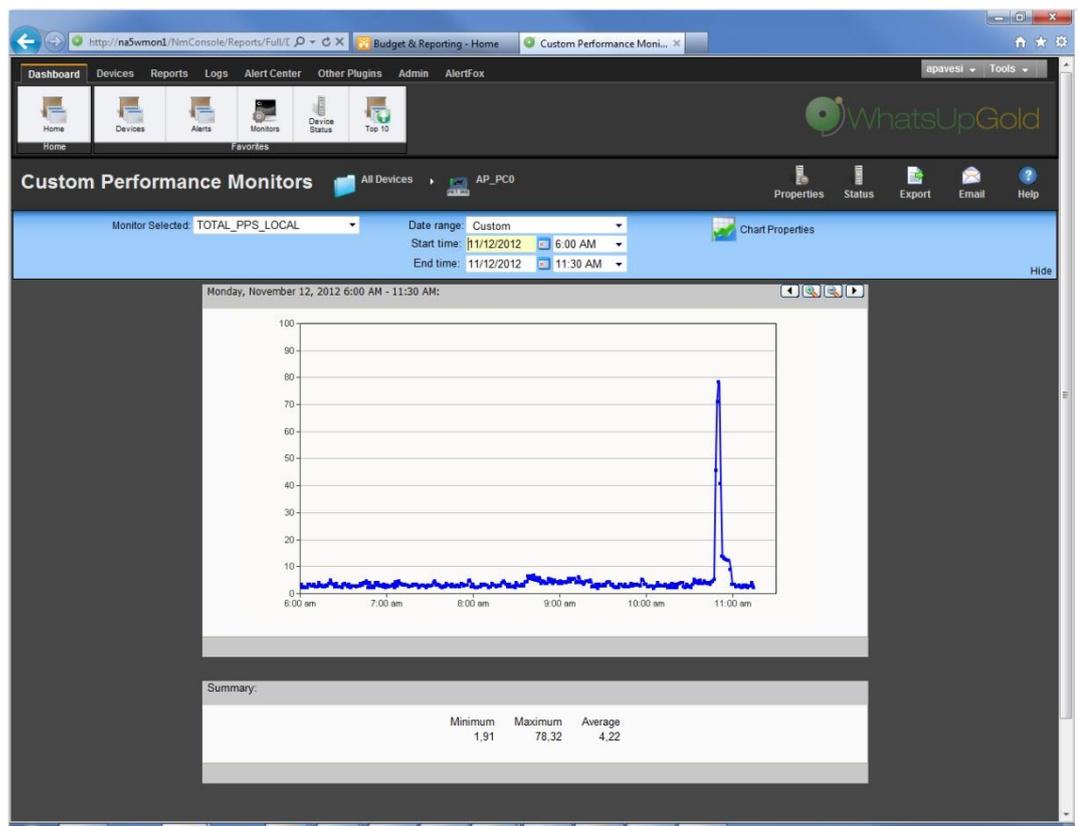


Figura 79: Pico de tráfico de más de 70 paquetes generado con Polling Rate=100milisegundos

Para este caso de Polling rate de 100 milisegundos se pudo verificar que la aplicación no alcanza a renovar el estado de la variable, lo que ocasiona algunos inconvenientes en la

visualización, perdiéndose la comunicación entre los procesos, como muestra la figura 80.

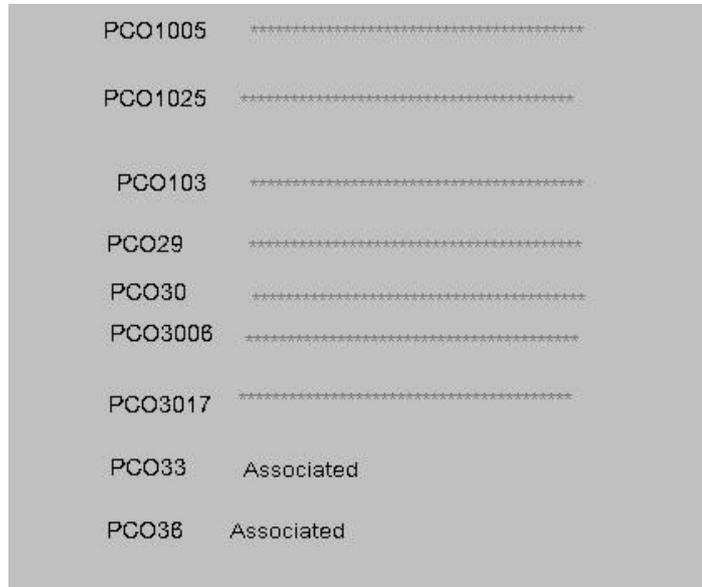


Figura 80: Fallas de comunicación entre procesos

Posteriormente se probaron tiempos intermedios y funcionales, por ejemplo 500 milisegundos, configurando el parámetro para los 10 pozos encuestados, como muestra la figura 81.

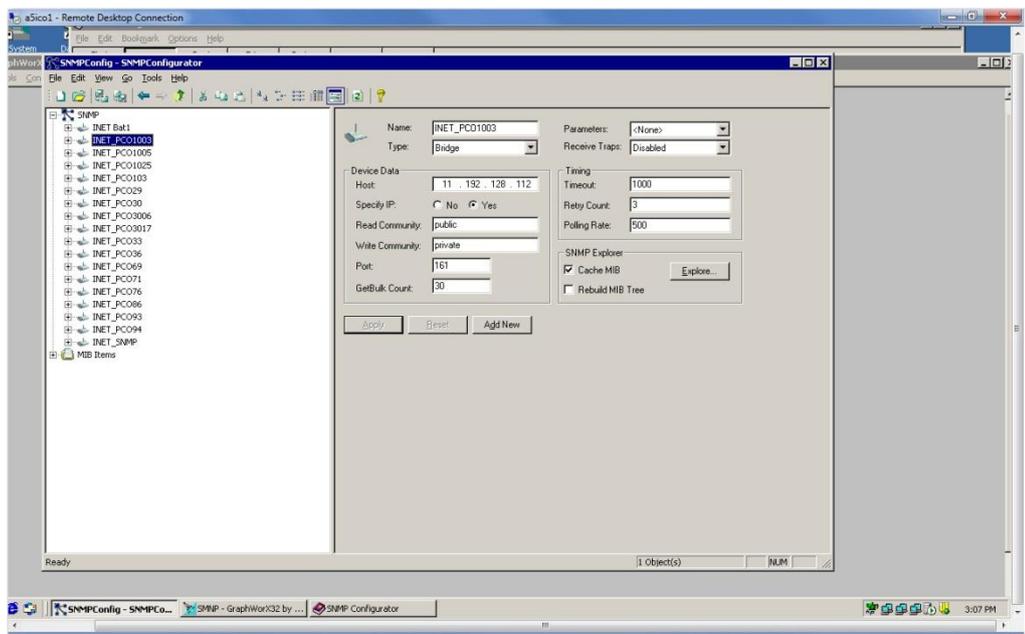


Figura 81: Seteo de Polling Rate = 500 milisegundos

Se puede verificar que cada uno de los remotos encuestados demanda por periodo de consulta 2 paquetes, por lo que en total se agregan alrededor de 20 paquetes por segundo escaneando 10 pozos (lo que implica un paquete de pedido y uno de respuesta por pozo y por consulta).

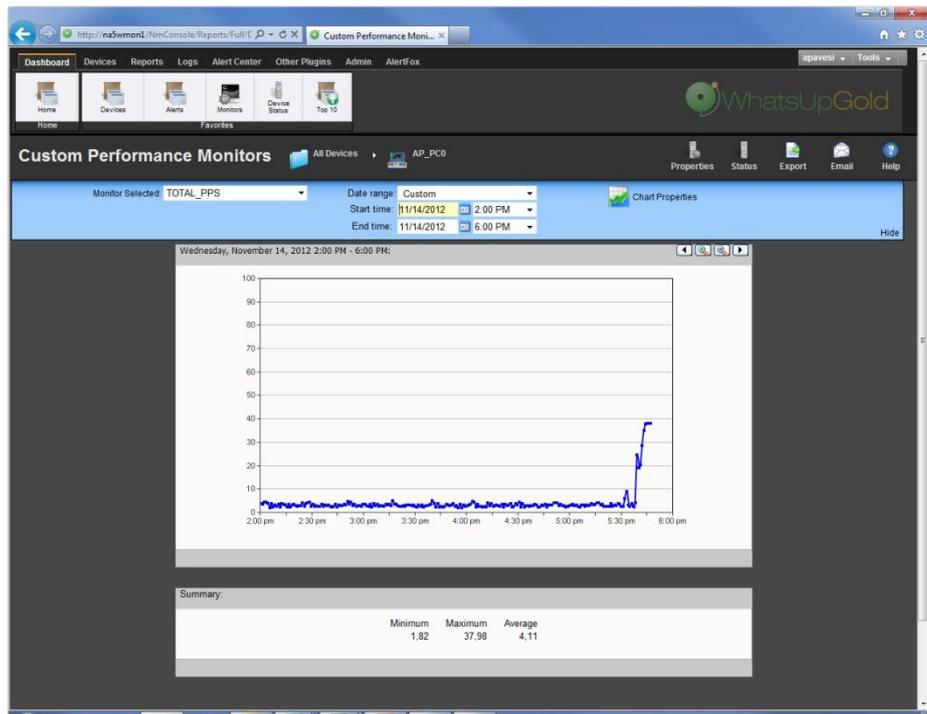


Figura 82: Comienzo de muestreo de 10 pozos a 500 milisegundos

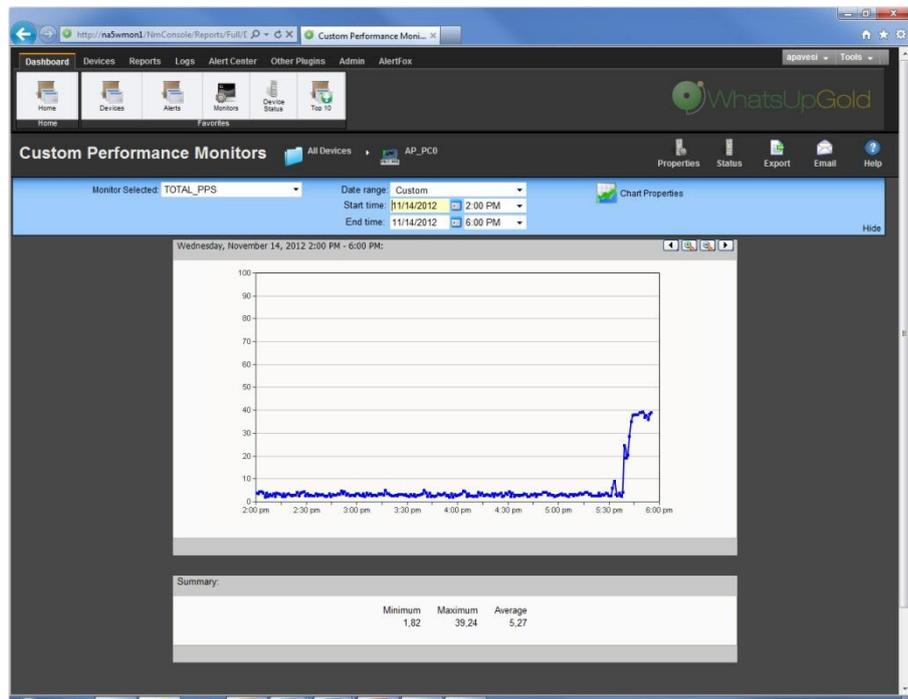


Figura 83: 5 minutos muestreo de 10 pozos a 500 milisegundos

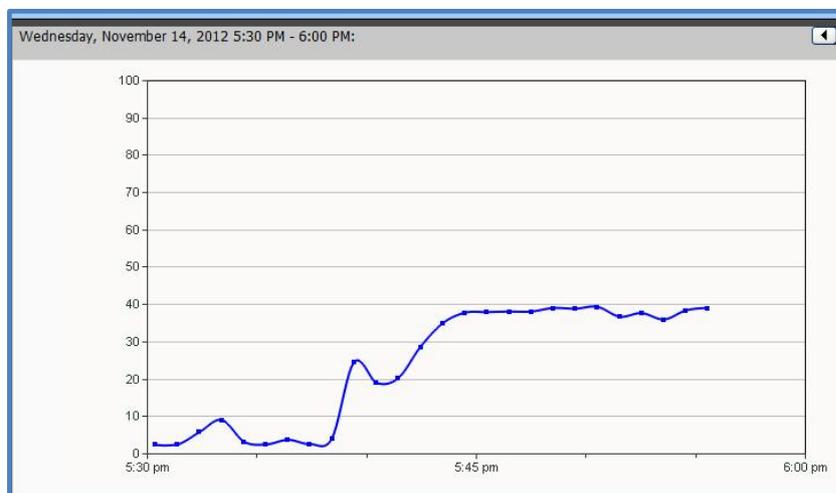


Figura 84: 15 minutos de muestreo de 10 pozos a 500 milisegundos

Se puede observar que la cantidad de paquetes sigue siendo estable, definitivamente se mantiene en 2 paquetes por consulta (y respuesta) por pozo por segundo llegando a 40 paquetes por segundo en el Acces Point al interrogar los 10 pozos.

Luego de esta prueba de 15 minutos se vuelve a bajar el Polling Rate a 1000 milisegundos (un segundo) y se pudo observar lo siguiente:

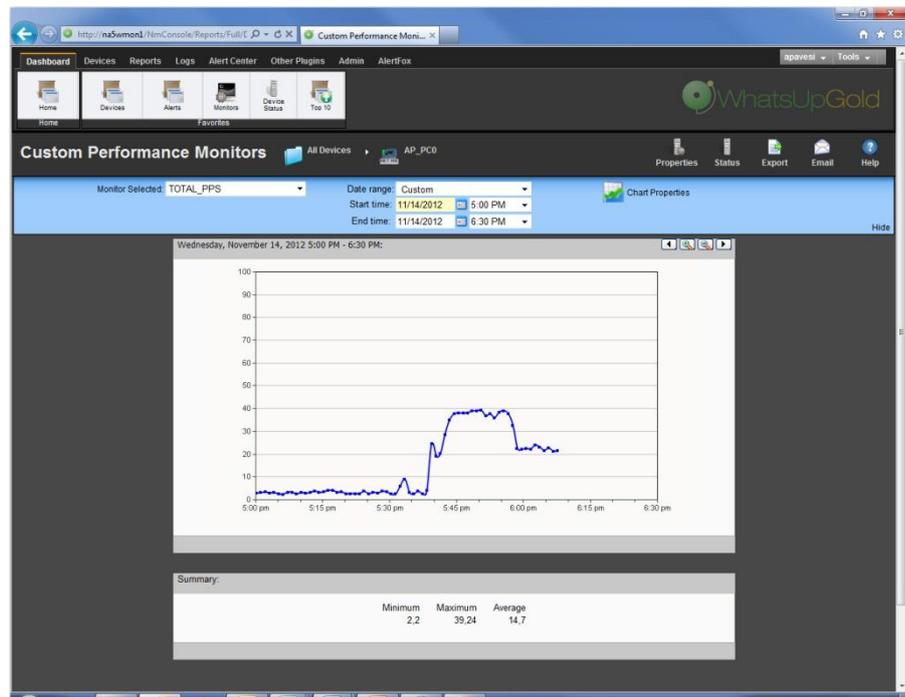


Figura 85: Comienzo de muestreo con Polling Rate de 1000 milisegundos por pozo

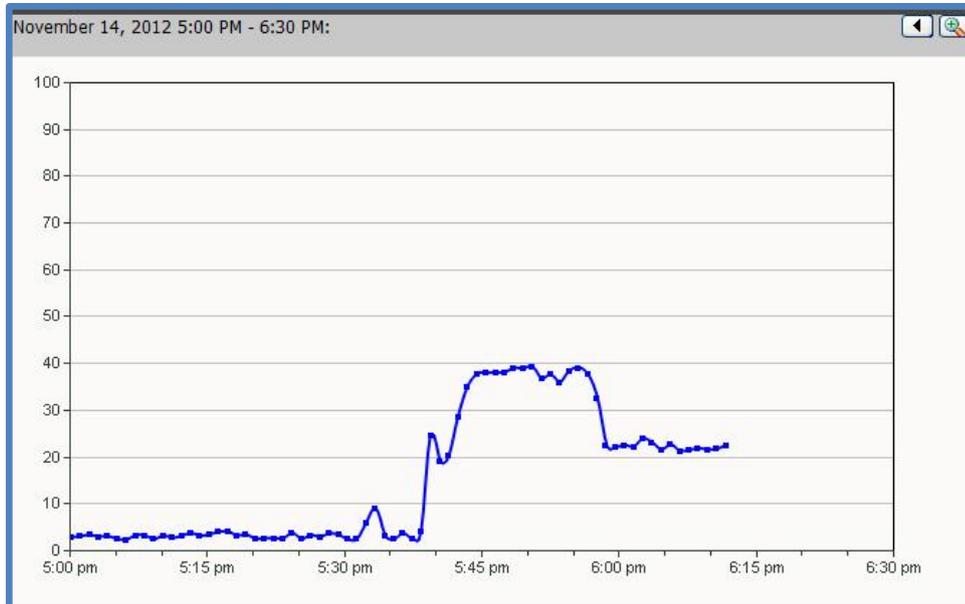


Figura 86: Trafico estable en 20 paquetes por segundo para un segundo de Polling Rate por pozo

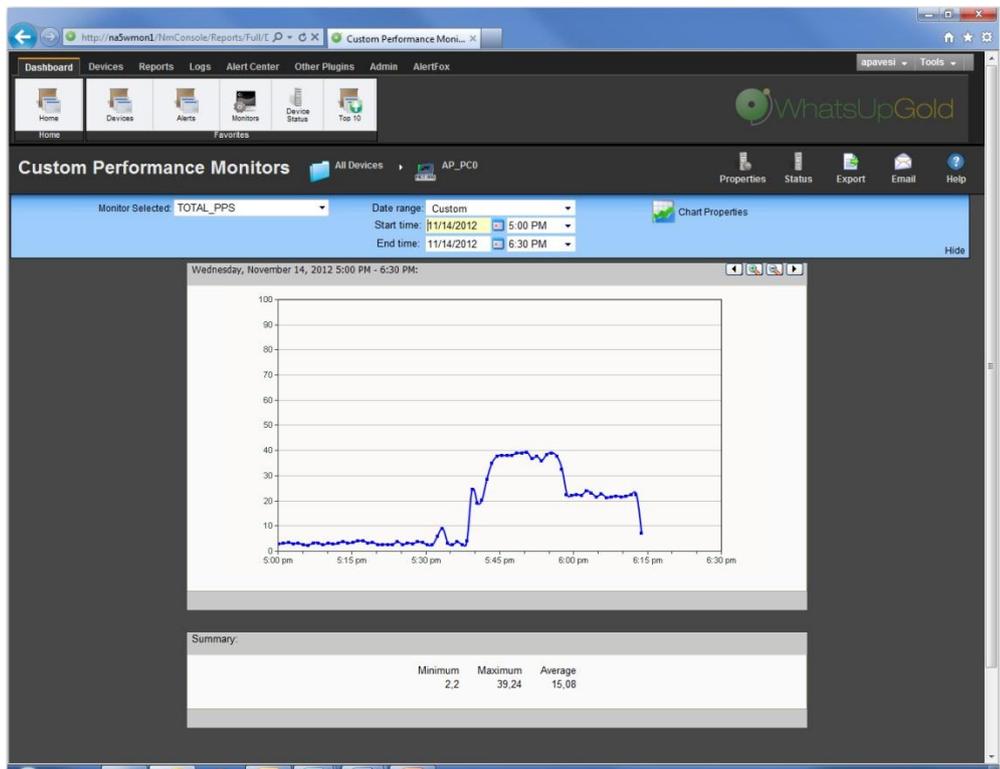


Figura 87: Desactivación de Remotas consultadas

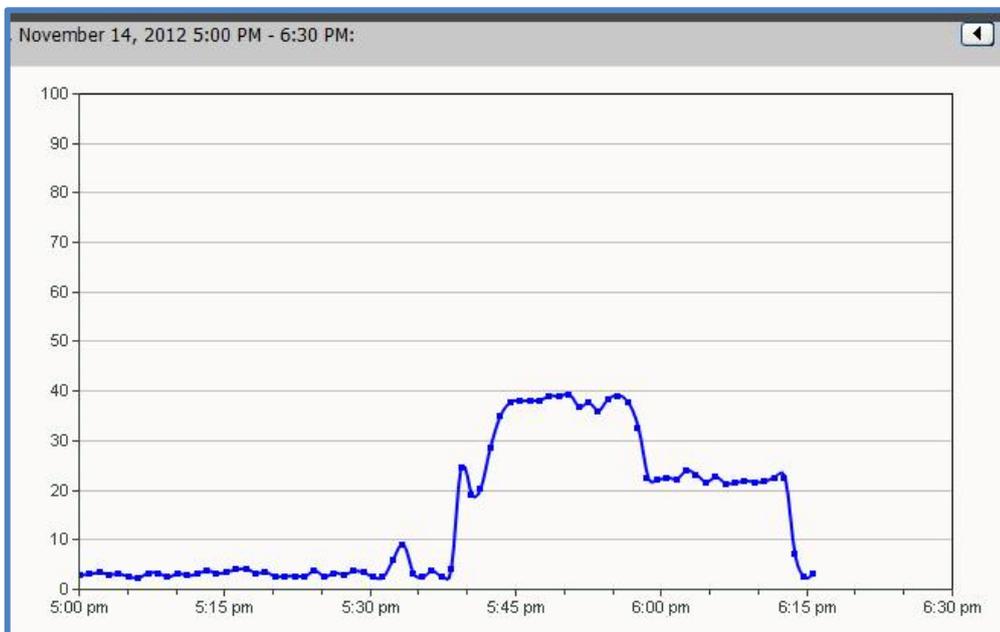


Figura 88: Trafico normalizado

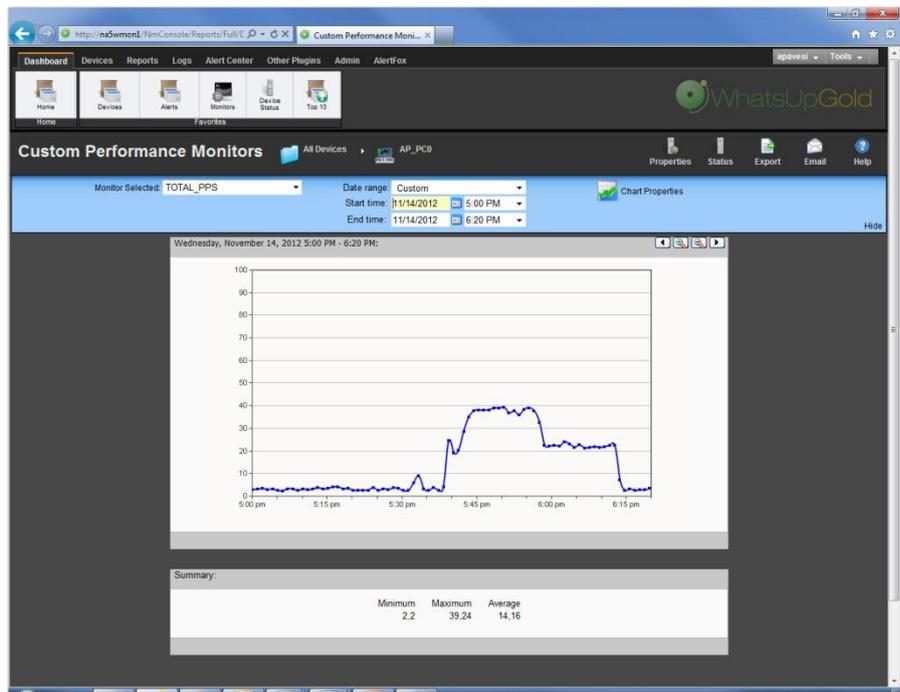


Figura 89: Trafico de Acces Point normalizado

Debido a las pruebas realizadas se puede concluir que es totalmente factible la implementación, pero la misma debe tener un exhaustivo estudio previo para realizar el análisis de ancho de banda, que depende exclusivamente de la frecuencia o Polling Rate que se les de a los dispositivos y la cantidad de remotos asociados a cada Acces Point, también se debe tomar en cuenta el tráfico normal de cada AP.

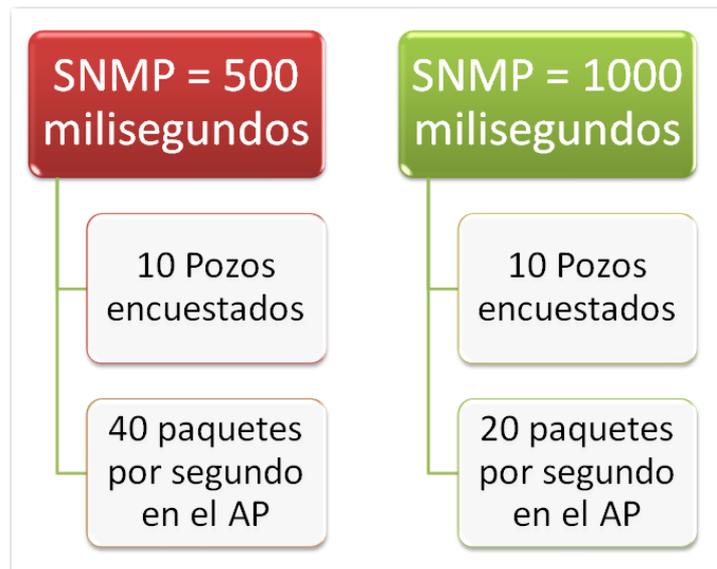


Figura 90: Conclusiones en consumo de Ancho de Banda

## **IX. CONCLUSIONES**

Muchos sistemas de supervisión y control crecen muy rápidamente sin dar oportunidad a acompañar con estrategias de control para robustecer la infraestructura utilizada.

Por lo tanto se siguen sumando puntos de monitoreo sin tener en cuenta que muchas veces se superan los límites para los que fueron diseñados o pensados estos sistemas.

Esto conlleva a que los mismos tengan tiempos de respuesta muy grandes, presenten fallas en la adquisición de los datos, fallas en el almacenaje, presentación y estadística de la información y otros problemas como los presentados en este trabajo.

Estas fallas pueden evitarse si en este proceso de adaptación de los yacimientos al monitoreo remoto, se realizan los trabajos de ingeniería de comunicaciones necesarios para mantener la armonía de las instalaciones, a pesar de un abrupto crecimiento.

En este trabajo se realizó este proceso, por lo que también se optimizaron los recursos manteniendo las estructuras estándares, cumpliendo con los objetivos planteados y respetando las premisas y restricciones impuestas en el ambiente técnico y social.

De esta manera se logró desarrollar una herramienta segura, que permite otorgar un alto grado de FLEXIBILIDAD al sistema SCADA, relacionando de manera adecuada los componentes de comunicaciones y control ya instaladas.

También se abrieron nuevas posibilidades de mejora, que llevan a un alto grado de detalle de la ingeniería utilizada para la recolección de datos de campo, sobre todo para la lograr el máximo grado de confiabilidad y la optimización de las inversiones realizadas por la compañía.

#### Bibliografía

- Spaning Tree*. (12 de 08 de 2012). Recuperado el 25 de 09 de 2012, de Wikipedia:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Spanning\\_tree](http://es.wikipedia.org/wiki/Spanning_tree)
- Web HMI de Cañadon Seco y Piedras Coloradas*. (25 de 09 de 2012). Recuperado el 25 de 09 de 2012, de Iconics WEBHMI: <http://gwx-cs.sinopecarg.com.ar/>
- Automation, R. T. (2008). *Real Time Automation*. Recuperado el 1 de 6 de 2012, de [www.rtaautomation.com](http://www.rtaautomation.com): <http://www.rtaautomation.com>
- Iconics Inc. (2005). Iconics Help. *Help Iconics Dataworx V9.01*.
- Inc., M. D. (21 de 6 de 2002). MDS INET 900. NEW YORK.
- Mall, R. (2009). *Real Time Systems: Theory and Practice*. India: Prentice Hall.
- Meyer, H., Fuchs, F., & Thiel, K. (2009). *Manufacturing Execution Systems*. McGraw-Hill Professional.
- Pinnell, D. (18 de 9 de 2003). ELAM Extended Lufkin Automation Modbus.
- Wikipedia. (13 de 09 de 2012). *OPC*. Recuperado el 04 de 11 de 2012, de Wikipedia:  
<http://es.wikipedia.org/wiki/OPC#Prop.C3.B3sito>
- Zhang, P. (2010). *Advanced Industrial Control Technology*. United Kingdom: elsevier.