

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN Y MEJORA DE LA PLATAFORMA DE RED DE DATOS DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO (DCS) DE LA EMPRESA MIXTA PETROMONAGAS**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Leopoldo J. Barrios D.  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2008

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN Y MEJORA DE LA PLATAFORMA DE RED DE DATOS DEL SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO (DCS) DE LA EMPRESA MIXTA PETROMONAGAS**

Profesor Guía: Carolina Regoli  
Tutor Industrial: Jhonny Casique

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Leopoldo J. Barrios D.  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Caracas, 2008



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**  
**DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES**



---

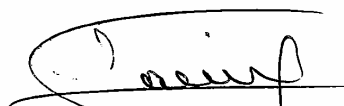
**CONSTANCIA DE APROBACIÓN**

Caracas, 11 de julio de 2008

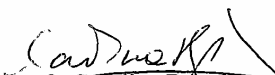
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Leopoldo J. Barrios D., titulado:

**“PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN Y MEJORA DE LA  
PLATAFORMA DE RED DE DATOS DEL SISTEMA DE CONTROL  
DISTRIBUIDO (DCS) DE LA EMPRESA MIXTA PETROMONAGAS”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

  
Prof. Francisco Marchena  
Jurado

  
Prof. Franklin Martínez  
Jurado

  
Prof. Carolina Regoli  
Prof. Guía



---

Edificio Escuela de Ingeniería Eléctrica, piso 1, oficina 201, Ciudad Universitaria, Los  
Chaguaramos, Caracas 1051, D.F.  
TELÉFONOS. (VOZ) +58 212 6053300 (FAX) +58 212 6053105  
Mail: eie-com@elecisc.ing.ucv.ve

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi tío y padrino Pedro Jesús Durán Peña, Ingeniero Electricista egresado de esta misma escuela, quien me inspiró y dio fuerzas en los momentos más difíciles de la carrera. A mis padres, quienes me apoyaron incondicionalmente durante todos estos años. Al resto de mis familiares y amigos que vivieron junto a mí esta gran experiencia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a todas las personas que brindaron su apoyo en la realización de este trabajo. Se reconoce de forma especial a Jhonny Casique quien me brindó la oportunidad y la confianza de trabajar en PetroMonagas. De igual forma se agradece al todo el grupo de AIT de PetroMonagas, así como al personal del Mejorador de Jose y el Campo de Operaciones de PetroMonagas en Morichal por su apoyo incondicional. A la profesora Carolina Regoli en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de Venezuela por su amabilidad, paciencia y disposición de colaborar con el presente Trabajo de Grado.

**Leopoldo J. Barrios D.**

**PROPUESTA PARA LA ADECUACIÓN Y MEJORA DE LA  
PLATAFORMA DE RED DE DATOS DEL SISTEMA DE CONTROL  
DISTRIBUIDO (DCS) DE LA EMPRESA MIXTA PETROMONAGAS**

**Tutor Académico o Prof. Guía:** Carolina Regoli. **Tutor Industrial:** Ing. Jhonny Casique. **Tesis.** Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. **Ingeniero Electricista. Opción:** Comunicaciones. **Institución:** PetroMonagas. **2007. Páginas 95 + anexos.**

**Palabras Claves:** Redes de Área Local (LAN), Sistema de Control Distribuido (DCS), Networking.

**Resumen:** Se realiza una propuesta para mejorar y adecuar la plataforma de red de datos Ethernet del Sistema de Control Distribuido (DCS) de la Empresa Mixta PetroMonagas. Posterior a un levantamiento de información en los sitios operativos de esta empresa, se concluye sobre la existencia de equipos en producción que están trabajando al límite de sus capacidades por obsolescencia, y además la inserción de datos de campo al DCS en niveles que no se corresponden con la arquitectura teórica que debería tener un sistema de este tipo. El presente trabajo explica los detalles conseguidos en cada sitio operativo y detalla el proceso de formulación de la propuesta. Esta tiene como objetivo actualizar la red y hacerla eficiente, convergente y escalable, permitiendo así que PetroMonagas mantenga niveles óptimos de producción. Por último se realiza un estudio económico a fin de justificar el gasto que generaría la implementación de la propuesta contra los beneficios que la misma es capaz de generar.

## ÍNDICE GENERAL

|                                                            | Pág. |
|------------------------------------------------------------|------|
| CONSTANCIA DE APROBACIÓN.....                              | ii   |
| DEDICATORIA.....                                           | iii  |
| AGRADECIMIENTOS.....                                       | iv   |
| RESUMEN.....                                               | v    |
| LISTA DE FIGURAS, ILUSTRACIONES Y GRÁFICOS LISTA DE.....   | ix   |
| TABLAS.....                                                | x    |
| SIGLAS.....                                                | xi   |
| ACRÓNIMOS.....                                             | xii  |
| INTRODUCCIÓN.....                                          | 1    |
| I EL PROBLEMA.....                                         | 3    |
| 1.1 Planteamiento del problema.....                        | 3    |
| 1.2 Objetivos.....                                         | 7    |
| 1.2.1 Objetivo General.....                                | 7    |
| 1.2.2 Objetivos Específicos.....                           | 7    |
| II MARCO TEÓRICO.....                                      | 8    |
| 2.1 Redes de datos.....                                    | 8    |
| 2.1.1 Componentes físicos comunes en una red de datos..... | 8    |
| 2.1.2 Características de una red de datos.....             | 9    |
| 2.1.3 Topologías en una red de datos.....                  | 10   |
| 2.1.3.1 Topologías físicas.....                            | 10   |
| 2.1.3.2 Topologías lógicas.....                            | 11   |
| 2.1.4 Protocolos de red.....                               | 12   |
| 2.1.5 Redes de área local (LAN).....                       | 12   |

|         |                                                                                            |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.6   | Redes de área amplia (WAN).....                                                            | 13 |
| 2.1.7   | Ethernet.....                                                                              | 13 |
| 2.1.8   | Operación de <i>switches</i> .....                                                         | 15 |
| 2.1.9   | LAN virtuales.....                                                                         | 16 |
| 2.1.10  | Listas de control de acceso (ACL).....                                                     | 17 |
| 2.2     | Control de procesos industriales.....                                                      | 18 |
| 2.2.1   | Sistemas de Control Distribuido (DCS).....                                                 | 19 |
| 2.2.1.1 | Arquitectura de un Sistema de Control Distribuido.....                                     | 20 |
| 2.2.1.2 | Comunicación entre los diferentes niveles en un DCS.....                                   | 22 |
| 2.2.2   | Ethernet industrial.....                                                                   | 23 |
| 2.2.3   | Sistema <i>Invensys I/A</i> .....                                                          | 25 |
| III     | EL PROYECTO.....                                                                           | 27 |
| 3.1     | Tipo de Investigación.....                                                                 | 27 |
| 3.2     | Fases del proyecto.....                                                                    | 27 |
| 3.3     | Desarrollo del proyecto.....                                                               | 30 |
| 3.3.1   | Plataforma de red de datos de PetroMonagas.....                                            | 30 |
| 3.3.2   | Ubicación del Sistema de Control Distribuido (DCS) en la red de datos de PetroMonagas..... | 31 |
| 3.3.3   | La plataforma de red de datos del DCS del Mejorador de Crudos de PetroMonagas.....         | 34 |
| 3.3.4   | La plataforma de red de datos del DCS del Campo de Operaciones de PetroMonagas.....        | 44 |
| 3.3.5   | Relación de la red de datos del DCS con la red administrativa de PetroMonagas.....         | 51 |
| IV      | ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....                                                    | 53 |

|                                 |                                                                                                                              |    |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1                             | Análisis y discusión de resultados del trabajo de campo realizado en el Mejorador de Crudos de PetroMonagas.....             | 53 |
| 4.2                             | Análisis y discusión de resultados del trabajo de campo realizado en el Campo de Operaciones de PetroMonagas.....            | 54 |
| V LA PROPUESTA.....             |                                                                                                                              | 57 |
| 5.1                             | Propuesta para la adecuación y mejora de la plataforma de red de datos del DCS del Mejorador de Crudos de PetroMonagas.....  | 58 |
| 5.2                             | Propuesta para la adecuación y mejora de la plataforma de red de datos del DCS del Campo de Operaciones de PetroMonagas..... | 61 |
| 5.3                             | Factibilidad de la propuesta.....                                                                                            | 66 |
| CONCLUSIONES.....               |                                                                                                                              | 72 |
| RECOMENDACIONES.....            |                                                                                                                              | 74 |
| GLOSARIO.....                   |                                                                                                                              | 76 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... |                                                                                                                              | 79 |
| BIBLIOGRAFÍA.....               |                                                                                                                              | 81 |
| ANEXOS.....                     |                                                                                                                              | 83 |

## LISTA DE FIGURAS, ILUSTRACIONES Y GRÁFICOS

|                                                                                                 | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 Niveles que intervienen en un Sistema de Control Distribuido (DCS).....                     | 20   |
| 2.2 Arquitectura del sistema de control distribuido I/A de <i>Invensys</i> .....                | 25   |
| 3.1 Topología general de red de datos de PetroMonagas.....                                      | 31   |
| 3.2 Ubicación de la red del DCS de PetroMonagas.....                                            | 32   |
| 3.3 Plataforma de red de datos del DCS del Mejorador de PetroMonagas.....                       | 35   |
| 3.4 Estaciones y servidores del DCS del Mejorador de PetroMonagas.....                          | 37   |
| 3.5 Red <i>Mesh</i> .....                                                                       | 39   |
| 3.6 Nodo de Control 1.....                                                                      | 41   |
| 3.7 Nodo de Control 2.....                                                                      | 42   |
| 3.8 Nodo de Control 3.....                                                                      | 43   |
| 3.9 Plataforma de red de datos del DCS del Campo de Operaciones de PetroMonagas.....            | 45   |
| 3.10 Estaciones y servidores del DCS del Campo de Operaciones de PetroMonagas.....              | 46   |
| 3.11 Conexión de las macollas con el DCS del Campo de Operaciones de PetroMonagas.....          | 50   |
| 5.1 Plataforma de red de datos propuesta para el DCS del Mejorador de PetroMonagas.....         | 60   |
| 5.2 Estaciones y servidores del DCS del Mejorador de PetroMonagas.....                          | 60   |
| 5.3 Plataforma de red de datos propuesta para el DCS del COPEM.....                             | 62   |
| 5.4 Estaciones y servidores del DCS del COPEM.....                                              | 62   |
| 5.5 Conexión propuesta de las macollas con el DCS del Campo de Operaciones de PetroMonagas..... | 65   |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                               | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 Características técnicas de Ethernet industrial.....                                                                      | 24   |
| 5.1 Estimado económico equipo <i>Cisco 4503</i> DCS Mejorador de PetroMonagas.....                                            | 67   |
| 5.2 Estimado económico equipo <i>Cisco 4503</i> DCS COPEM.....                                                                | 68   |
| 5.3 Estimado económico equipos <i>Cisco 4506</i> DCS COPEM.....                                                               | 69   |
| 5.4 Estimado económico equipo <i>switches</i> macollas DCS COPEM, honorarios profesionales y estimado total del proyecto..... | 70   |

## **SIGLAS**

ANSI: American National Standards Institute

API: American Petroleum Institute

CANTV: Compañía Anónima Nacional Teléfonos de Venezuela

CVP: Corporación Venezolana de Petróleo

EIA: Electronic Industries Alliance

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

PDVSA: Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima

TIA: Telecommunications Industry Association

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

VEBA: Vereinigte Elektrizität und Bergwerks AG

## ACRÓNIMOS

ACL: Access Control List

AG: Aktiengesellschaft

AIT: Automatización Informática y Telecomunicaciones

API: American Petroleum Institute

ARP: Address Resolution Protocol

ASIC: Application Specific Integrated Circuit

AW: Application Workstation

CA: Compañía Anónima

CAM: Content Addressable Memory

CD: Collision Detection

CIP: Control Information Protocol

COPEM: Campo de Operaciones de PetroMonagas

CP: Control Processor

CSMA: Carrier Sense Multiple Access

DCS: Distributed Control System

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

DSL: Digital Subscriber Line

FBM: Field Bus Module

FCM: Field Communication Module

IP: Internet Protocol

IT: Information Technologies

Jose: Complejo Criogénico José Antonio Anzoátegui

Kbps: Kilo bits por segundo

km: kilómetros

LAN: Local Area Network

MAC: Media Access Control

Mbps: Mega bits por segundo

OSI: Open System Interconnection

PLC: Programmable Logic Controllers

PTO: Patio de Tanques Oficina

RARP: Reverse Address Resolution Protocol

RDSI: Red Digital de Servicios Integrados

RF: Radio Frecuencia

RTU: Remote Terminal Unit

SA: Sociedad Anónima

SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition

TACACS: Terminal Access Controller Access Control System

TCP: Transport Control Protocol

UDP: User Data Protocol

UTP: Unshielded Twisted Pair

VLAN: Virtual Local Area Network

WAN: Wide Area Network

WP: Workstation Processor

## INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años las telecomunicaciones han jugado un papel muy importante en el desarrollo del mundo contemporáneo. Los constantes avances tecnológicos en esta área han facilitado la comunicación instantánea entre las personas, permitiendo el flujo de información de distinta índole, en diferentes direcciones.

Entre los sectores que más se han beneficiado con estos avances tecnológicos se encuentra el sector económico. En un mundo en el cual las empresas han ido abarcando cada vez mayores y diversos espacios geográficos, se ha hecho indispensable contar con servicios de telecomunicaciones que permitan mantener el intercambio económico global.

El surgimiento y veloz desarrollo tecnológico que han tenido las redes de datos, han hecho de éstas uno de los medios de transmisión más utilizados en el mercado internacional debido a su rapidez, eficiencia e integridad de los datos que viajan a través de las mismas. Su implementación ha permitido al mundo empresarial el aumento de la productividad y la disminución de gastos.

En la actualidad son muchas las empresas que poseen una red de datos, y no son una excepción a este grupo las del sector petrolero. Las grandes empresas petroleras viendo la proyección de las telecomunicaciones con respecto a las redes de datos, las implementaron en sus complejas operaciones de control y monitoreo, así como en su desarrollo empresarial.

Una de las principales empresas mixtas petroleras venezolanas, PetroMonagas, nacida del proceso de nacionalización petrolera el 1 de mayo de 2007, heredó una interesante plataforma de red de datos. Esta plataforma tuvo necesariamente que ser analizada para ser adecuada a los requerimientos de la actual empresa.

En ese proceso de análisis se encontró una red especial: la red del sistema de control distribuido, por sus siglas en inglés DCS (*Distributed Control System*). El

análisis de esta red y la propuesta de adecuación y mejora realizada para la misma constituyen el tema principal del presente trabajo.

Los fundamentos teóricos asumidos en el marco del Trabajo de Grado contemplan fundamentos básicos sobre las redes de datos y los sistemas de control distribuido, los cuales aportan los conocimientos fundamentales para la comprensión del proyecto desarrollado.

Las motivaciones para la escogencia del tema obedecieron a la posibilidad de conocer, estudiar y aportar soluciones a una plataforma tecnológica de alto nivel, de una de las principales empresas petroleras de Venezuela.

Por otra parte, el desarrollo del trabajo plantea una solución ante una problemática actual de esta empresa, la cual podría perjudicar las operaciones de la misma a corto y mediano plazo.

El desarrollo del Trabajo de Grado se estructuró en V capítulos. En el Capítulo I se presenta el planteamiento del problema, el objetivo general y los objetivos específicos. El Capítulo II comprende los fundamentos teóricos relacionados con la investigación y la propuesta realizada. El Capítulo III se refiere al desarrollo del proyecto y los resultados obtenidos de la investigación de campo. En el Capítulo IV se presentan el análisis y la discusión de los resultados obtenidos durante la investigación de campo. En el capítulo V se expone la propuesta para adecuación y mejora de la red de datos del DCS de la empresa mixta PetroMonagas. Luego se presentan las conclusiones y recomendaciones. Finalmente se hace un listado de las referencias bibliográficas contenidas en el Trabajo de Grado.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento del Problema**

Posterior al proceso denominado apertura petrolera, en el año 1997, fue firmado el acuerdo de Asociación Estratégica Cerro Negro. Esta asociación fue conformada por: Mobil de Venezuela (subsidiaria de ExxonMobil Corporation) con 42% de las acciones, Petróleos de Venezuela (PDVSA) con 42% de las acciones, y Veba Oel (filial de Veba AG), con 16% de las acciones. Esta asociación tuvo como principal finalidad la realización del Proyecto Cerro Negro en los 35 años de duración que inicialmente este tenía.

“El Proyecto Cerro Negro constituye una asociación estratégica... para la explotación de crudo extra pesado a 8,5°API, producido de la concesión que ocupa 295 Km<sup>2</sup>... ubicado al este de Venezuela...”. [1]

Esta operadora realizó entonces operaciones de producción y procesamiento del crudo pesado de la Faja Petrolífera del Orinoco, el cual era diluido y procesado en el campo de operaciones y posteriormente transportado a través de 300 Km de tubería hasta el mejorador de crudos ubicado en el Complejo Criogénico José Antonio Anzoátegui (Jose). En este mejorador se elevaba la calidad del crudo de 8,5°API a 16,5°API (crudo sintético), para luego exportarlo en tanqueros a refinerías en los Estados Unidos y Alemania.

Como se mencionó, el Proyecto Cerro Negro era una asociación estratégica conformada por tres empresas; en la cual el desarrollo, operación y administración del mismo fue llevado a cabo por la compañía ExxonMobil.

La plataforma tecnológica administrada por esta compañía era operada desde varias localidades geográficas dentro y fuera de Venezuela. De esta manera, la gran

mayoría de las decisiones operacionales y tecnológicas eran tomadas en las localidades de ExxonMobil en Curitiba (Brasil) y en Houston (Estados Unidos de América).

Dando inicio al proceso de nacionalización petrolera, el martes 20 de junio de 2006, fue publicada en Gaceta Oficial número 38.462 la resolución en la que se constituyen las empresas mixtas que sustituyeron a los 32 convenios operativos firmados durante la apertura petrolera (1992-1997). El proceso de nacionalización petrolera culmina el 1 de mayo de 2007 previo decreto de ley No. 5200 de migración a Empresas Mixtas de los Convenios de Asociación de la Faja Petrolífera del Orinoco; y los Convenios de Exploración a Riesgo y Ganancias Compartidas de fecha 1 de febrero de 2007.

Esta ley expresa lo siguiente en su artículo primero:

“Las asociaciones existentes entre filiales de Petróleos de Venezuela, S.A. y el sector privado que operan en la Faja Petrolífera del Orinoco, y en las denominadas de Exploración a Riesgo y Ganancias Compartidas, deberán ser ajustadas al marco legal que rige la industria petrolera nacional, debiendo transformarse en empresas mixtas en los términos establecidos en la Ley Orgánica de Hidrocarburos.

En consecuencia de lo antes previsto, todas las actividades ejercidas por asociaciones estratégicas de la Faja Petrolífera del Orinoco, constituidas por las empresas Petrozuata, S.A.; Sincrudos de Oriente, S.A., Sincor, S.A., Petrolera Cerro Negro S.A y Petrolera Hamaca, C.A; los convenios de Exploración a Riesgo y Ganancias Compartidas de Golfo de Paria Oeste, Golfo de Paria Este y la Ceiba, así como las empresas o consorcios que se hayan constituido en ejecución de los mismos; la empresa Orifuels Sinovensa, S.A, al igual que las filiales de estas empresas que realicen actividades comerciales en la Faja petrolífera del Orinoco, y en toda la cadena productiva, serán transferidas a las nuevas empresas mixtas”.[2]

Además, en el artículo dos de este decreto se concede un mínimo del 60% de participación accionaria a la Corporación Venezolana de Petróleo (CVP) u otra filial de Petróleos de Venezuela sobre las nuevas empresas mixtas. ExxonMobil tomó la

decisión de no participar en la nueva empresa mixta que suplantaría a la Asociación Estratégica Cerro Negro cesando así sus actividades en la Faja Petrolífera del Orinoco.

A partir del 1 de mayo de 2007 PDVSA se encarga de las operaciones de la antigua Cerro Negro bajo el nombre de PetroMonagas, desconectándose todos los enlaces foráneos y creando una red independiente y segura. Estas actividades fueron realizadas bajo la supervisión de un grupo de líderes y coordinadores de PDVSA en comisión de servicio, los cuales trabajaron en conjunto con personal proveniente de ExxonMobil que fue absorbido por la nueva empresa.

Cabe destacar que el 50% del personal de IT de ExxonMobil no pasó a la nueva empresa, incluyéndose en este grupo el personal gerencial y los supervisores que coordinaban las actividades de IT Cerro Negro. Esto creó vacíos de información con respecto a algunos aspectos de la plataforma tecnológica por lo que se hizo necesario realizar análisis profundos de los sistemas heredados de esa empresa.

Uno de los sistemas más importantes por analizar era el Sistema de Control Distribuido (DCS), por tratarse del sistema en el cual se llevaban a cabo todos los procesos de control y monitoreo de las actividades de planta. Dentro de la plataforma de red de datos de Cerro Negro, la red del DCS representaba una caja negra donde sólo tenía acceso personal altamente calificado; inclusive, esta red mantenía enlaces foráneos desde los cuales se realizaban monitoreo y configuraciones. Durante la transición a empresas mixtas, todo el personal que diseñó y realizaba el mantenimiento de esta red no migró a la nueva empresa, contribuyendo a la incertidumbre sobre su arquitectura y funcionamiento.

Debido a la rápida migración de Cerro Negro a PetroMonagas y a la falta de información suficiente, la plataforma de red de datos del DCS no era conocida con exactitud. A pesar de que el sistema se mantenía operativo, inspecciones preliminares por parte del equipo de ATI PetroMonagas develaron la presencia de equipos cuyas tecnologías estaban al límite de sus capacidades y de los requerimientos exigidos por el DCS. Esto llevó a que los líderes de AIT se preguntaran si esta plataforma brindaba

la confiabilidad necesaria que esa parte tan crítica del negocio exigía. Por lo tanto, se hizo necesaria una investigación a fondo de esta plataforma de red de datos a fin de caracterizar la misma, ver sus potencialidades y debilidades, para así proponer cambios que mejoraran su funcionamiento.

Por lo expuesto anteriormente, el propósito general de este Trabajo de Grado consiste en establecer una propuesta que mejore y adecue la plataforma de red de datos del DCS de la empresa mixta PetroMonagas.

La plataforma de red de datos del DCS de PetroMonagas es el soporte de la plataforma de control de los procesos industriales llevados a cabo en el Campo de Operaciones de PetroMonagas (COPEM) ubicado en Morichal y en el Mejorador de Crudos ubicado en Jose. Sin un óptimo funcionamiento de esta red de datos es probable que este sistema, destinado a controlar los procesos de plantas de considerable magnitud y criticidad, pueda ver afectado su funcionamiento por lo que la propuesta realizada evitará peligros al personal técnico en planta así como pérdidas económicas para el negocio.

Además, la propuesta garantiza un óptimo funcionamiento del sistema ante un necesario incremento en los niveles de producción.

Es importante mencionar que la propuesta realizada se basa en órdenes impartidas por los líderes de AIT PetroMonagas las cuales eran analizar y proponer cambios o mejoras a las redes de datos basadas en protocolo *Ethernet* pertenecientes al DCS de la empresa considerando los equipos de automatización e instrumentación actualmente en funcionamiento.

Por otra parte, el acuerdo de confidencialidad firmado por el autor ante la empresa no permite develar direcciones MAC ni direcciones IP, así como cualquier otra información que ésta estime confidencial.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Desarrollar una propuesta para la adecuación y mejora de la plataforma de red de datos del Sistema de Control Distribuido (DCS) de la Empresa Mixta PetroMonagas.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Diagnosticar la situación actual que presenta la plataforma de red de datos del Sistema de Control Distribuido (DCS), en el Mejorador de Crudos ubicado en el Complejo Criogénico José Antonio Anzoátegui (Jose), y en el Campo de Producción ubicado en Morichal.
- Identificar las necesidades y requerimientos tecnológicos de la plataforma de red de datos del Sistema de Control Distribuido (DCS), en el Mejorador de Crudos de Jose, y en el Campo de Producción ubicado en Morichal.
- Desarrollar la propuesta para adecuación y mejora del Sistema de Control Distribuido (DCS), para el Mejorador de Crudos de Jose, y para el Campo de Producción ubicado en Morichal.
- Estudiar la factibilidad de la propuesta de adecuación de la plataforma de red de datos del Sistema de Control Distribuido (DCS), para el Mejorador de Crudos de Jose, y para el Campo de Producción ubicado en Morichal.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Redes de datos**

Una red de datos es un conjunto de dispositivos y sistemas terminales interconectados, entre los cuales se encuentran computadores y servidores, que pueden comunicarse entre sí. Por lo tanto, las redes de datos manejan la información en muchos tipos de ambientes, incluyendo hogares, pequeños negocios, y grandes empresas.

En una gran empresa es posible encontrar varias localidades que necesiten comunicarse entre sí. Estas localidades pueden clasificarse en: Oficinas principales y localidades remotas. Las oficinas principales son los sitios donde todos los usuarios están conectados utilizando una red de datos y además está localizada la mayor parte de la información de la empresa. Las localidades remotas son una variedad de sitios de acceso remoto que utilizan una red de datos para conectarse a una oficina principal o a cualquier otro sitio. Estas localidades remotas pueden ser, por ejemplo, extensiones o sucursales de una oficina principal, una oficina residencial, o un usuario móvil.

##### **2.1.1 Componentes físicos comunes en una red de datos**

Existen cuatro categorías principales de componentes físicos en una red de datos:

La primera categoría corresponde a las estaciones de trabajo, las cuales funcionan como dispositivos finales de red para enviar y recibir información.

La segunda categoría está formada por los componentes encargados de las interconexiones, es decir, aquellos componentes que permiten que la información se traslade de un punto a otro dentro de la red. En esta categoría se encuentran las tarjetas de interfaz de red o NIC's (*Network Interface Cards*), las cuales traducen la información proveniente de la computadora en un formato que puede ser transmitido sobre la red de datos; se encuentran además todos los medios de transmisión, cableados o inalámbricos, que proveen la vía para que la información sea transmitida de un dispositivo a otro dentro de la red; por último se tienen los conectores, los cuales proveen los puntos de conexión dependiendo del tipo de medio que se esté utilizando.

La tercera categoría se refiere a los *switches*. Estos son dispositivos que permiten conectar a la red a los dispositivos finales o de usuario, proveyendo de conmutación inteligente a la red local de datos.

La cuarta categoría la conforman los *routers*. Estos dispositivos permiten conectar diferentes redes entre sí y escogen la mejor ruta a seguir por los paquetes de datos, entre esas redes.

### **2.1.2 Características de una red de datos**

Las redes de datos pueden describirse y compararse de acuerdo a su desempeño y estructura, por varios parámetros:

- Velocidad de transmisión, este parámetro se refiere a la medida de cuán rápido es posible transmitir la información sobre la red de datos.
- Costo, el cual indica el valor de los componentes, la instalación y el mantenimiento de la red de datos.
- Seguridad. Se refiere a qué tan segura es la red de datos, incluyendo el contenido o la información que es transmitida en ésta. La seguridad es uno de los temas más importantes en una red y debe considerarse siempre que puedan generarse acciones que afecten su desempeño.

- Disponibilidad. Este parámetro es una medición probabilística de la disponibilidad de la red para su uso, cuando éste es requerido.

- Escalabilidad. Este parámetro indica que tan bien puede la red adaptarse al crecimiento en la cantidad de usuarios y a aumentos en la velocidad de transmisión de datos. Si una red está diseñada y optimizada justamente para los requerimientos solicitados en ese momento, puede resultar muy costosa y difícil su adaptación a las nuevas necesidades en caso de su crecimiento.

- Confiabilidad. Este es un parámetro que indica la dependencia de los componentes que hacen funcionar la red. Se mide como probabilidad de fallas o tiempo entre fallas.

- Topología. Se refiere a la disposición o forma de la red de datos. Puede ser de dos tipos: Física o lógica.

### **2.1.3 Topologías en una red de datos**

#### **2.1.3.1 Topologías físicas**

La topología física está referida a la disposición real de medios y cables en una red. Este tipo de topología debe ser elegida de acuerdo al tipo de cableado que se vaya a utilizar: Par trenzado, coaxial, fibra óptica, entre otros. Las topologías físicas principales son las siguientes: Bus, anillo, estrella y malla.

En la topología física de bus, los computadores y otros dispositivos de red son cableados a una línea denominada *backbone*, la cual generalmente es un cable coaxial. Actualmente se está implementando esta misma topología pero estableciendo el bus de datos en un dispositivo de *hardware*, donde las estaciones pertenecientes a la red se conectan a éste utilizando par trenzado.

La topología de anillo conecta los computadores y otros dispositivos de red, uno con el siguiente y el último con el primero, formando un círculo. Este tipo de

topología se implanta con cable coaxial o fibra óptica, y admite redundancia a nivel del anillo.

La topología en estrella conecta todos los computadores y dispositivos de red a un punto central de concentración. Este punto bien puede ser un *switch* principal o un concentrador. Su implementación se realiza comúnmente utilizando cable de par trenzado. Conectando estrellas individuales utilizando *hubs* y *switches* se obtiene una variante de esta topología llamada estrella extendida.

La topología en malla o mallada consiste en conectar a todos los dispositivos de red unos contra otros. A pesar de ser la topología física que genera mayores costos, su implementación genera la mayor protección posible para evitar interrupciones en el servicio.

#### **2.1.3.2 Topologías lógicas**

“La topología lógica de una red es la forma en que los *hosts* se comunican a través del medio. Los dos tipos más comunes de topologías lógicas son *broadcast* y transmisión de *tokens*”. [3]

En la topología de *broadcast*, cada estación de la red envía sus datos a todas las demás estaciones pertenecientes a la misma. Esto se realiza por orden de llegada, es decir que no existe un orden específico para el acceso al medio.

La topología lógica de transmisión de *tokens*, controla el acceso a la red mediante la transmisión de un *token* electrónico de forma secuencial. De esta forma cada estación perteneciente a la red puede enviar los datos sólo al recibir el *token*. Si la estación no tuviese datos por enviar, transmite el *token* a la siguiente estación y así sucesivamente. Este tipo de topología lógica es muy implementada en topologías físicas de bus o topologías físicas de anillo.

#### **2.1.4 Protocolos de red**

Los protocolos de red son descripciones formales de un conjunto de reglas y convenciones que hacen posible la comunicación óptima entre los dispositivos que forman parte de una red de datos. “Los protocolos definen el formato, la sincronización, la secuenciación, y el control de errores en la comunicación de datos”. [4]

Como se mencionó los protocolos controlan todos los aspectos de la comunicación de datos, donde están incluidos: Cómo se construye la red física; cómo las estaciones de trabajo tienen acceso a la red; cómo son formateados los datos para su posterior transmisión; cómo se envían los datos; cómo se manejan los errores.

Los protocolos son normativas creadas y administradas por varias organizaciones y comités de carácter mundial. Se cuentan entre estos: el IEEE (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica), el ANSI (Instituto Nacional Americano de Normalización), la TIA (Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones), la EIA (Asociación de Industrias Electrónicas) y la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

#### **2.1.5 Redes de área local (LAN)**

Una LAN es una red de trabajo donde las estaciones de los usuarios y otros componentes están localizados relativamente cerca entre sí, en un área limitada. Las LAN pueden ser variadas en relación a su tamaño: Se pueden tener LAN's de dos computadores en una pequeña empresa o en una oficina en el hogar, o LAN's de cientos de computadores en una gran corporación con múltiples edificios.

Por ser las LAN's redes de datos, están formadas por los mismos componentes físicos mencionados en el punto 2.1.1. Se añaden a estos componentes, los protocolos principales presentes en una LAN: los protocolos Ethernet, el

protocolo de internet (IP), los protocolos de resolución de direcciones (ARP y su reverso RARP), y el protocolo dinámico de configuración de *host* (DHCP).

Las redes de área local permiten manejar eficientemente las comunicaciones internas dentro de una empresa al facilitar la aplicación de la tecnología informática en la misma para compartir archivos e impresoras. Proporcionan además el control privado de la red, conectividad continua a servidores locales y el múltiple acceso a un ancho de banda de alta velocidad.

#### **2.1.6 Redes de área amplia (WAN)**

Son redes que operan en áreas extensas y conectan dispositivos separados por grandes distancias, incluso a nivel mundial. Permiten conectar distintas LAN's entre sí, haciendo uso de interfaces seriales que operan a velocidades más bajas. De esta forma los usuarios dentro de una LAN pueden comunicarse con otros usuarios y servidores de datos en otros sitios remotos.

Las WAN's tienen la capacidad de permitir la comunicación en tiempo real entre usuarios, brindar recursos remotos de tiempo completo conectados a los servidores locales, brindar servicios de correo electrónico, *World Wide Web*, transferencia de archivos y comercio electrónico.

En las redes de área amplia se pueden encontrar las siguientes tecnologías: Módems, RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), DSL (*Digital Subscriber Line*), *Frame Relay*, series de portadoras E1, E3, T1, T3, entre otras.

#### **2.1.7 Ethernet**

Ethernet es la familia de tecnologías LAN dominante en el mundo. Esto se debe a su confiabilidad, facilidad de mantenimiento, bajos costos de instalación y actualización, así como su capacidad para incorporarse a nuevas tecnologías.

El estándar para Ethernet es el IEEE 802.3, el cual surge de ciertas modificaciones al estándar Ethernet original. Estas modificaciones se realizaron con la finalidad de que Ethernet fuera capaz de administrar nuevos medios con mayores velocidades de transmisión. A pesar de los aumentos en los anchos de banda de las redes de datos, Ethernet ha mantenido su tecnología base, por lo que se considera una tecnología muy escalable.

Ethernet es una familia para *networking* que incluye *Legacy*, *Fast Ethernet* y *Gigabit Ethernet*, con velocidades de transmisión de 10, 100, 1000 y 10000 Mbps. Esta tecnología emplea señalización de banda base, la cual utiliza todo el ancho de banda del medio de transmisión y en donde la información es transmitida directamente sobre el mismo.

Esta tecnología opera en la mitad inferior de la capa de enlace del modelo OSI, llamada subcapa MAC, y en la capa física del mismo modelo. Para permitir el envío de tramas en Ethernet, se utiliza un sistema de direccionamiento basado en direcciones MAC, el cual permite identificar los computadores y las interfaces de forma exclusiva. Todos los dispositivos conectados a una LAN Ethernet tienen interfaces con dirección MAC, incluidas las estaciones de trabajo, impresoras, *routers* y *switches*. Estas direcciones MAC están formadas por 48 bits de largo y están expresadas por doce dígitos hexadecimales, de los cuales los primeros seis identifican al fabricante y los restantes seis al equipo.

En la subcapa MAC de la capa de enlace de datos se agrega información a los datos provenientes de las capas superiores. Entre esta información se encuentra la dirección MAC del dispositivo actual, la cual será analizada por la misma capa en el dispositivo destino. En dado caso que concuerden, la tarjeta NIC encargada de realizar la evaluación, permitirá el acceso de esos datos a los niveles superiores del modelo OSI. En caso contrario la trama de datos es descartada. De esta forma es posible establecer una ruta de comunicación entre dispositivos de una red.

Ethernet es una tecnología de *broadcast* de medios compartidos. Utiliza el método de acceso CSMA/CD para transmitir y recibir tramas de datos, decodificar las

tramas, verificar que las direcciones sean válidas, y detectar errores en las tramas o en la red. En este método de acceso los dispositivos de la red para poder transmitir deben determinar si el medio está libre. Mientras un dispositivo transmite, se verifica al mismo tiempo que ningún otro dispositivo lo esté haciendo, para evitar colisiones en el medio de transmisión.

### **2.1.8 Operación de switches**

Como se ha descrito Ethernet es una tecnología que funciona para un medio compartido por varios usuarios, por lo cual las colisiones están presentes. Dependiendo del número de dispositivos que intenten acceder a la red en determinado momento, el número de colisiones puede permanecer dentro de unos límites aceptables. Sin embargo se desarrollaron soluciones para cuando el rendimiento de la red se tornaba intolerable.

El puenteo surgió entonces como solución al problema de los medios congestionados por múltiples colisiones. Al irse agregando nodos sobre un medio de transmisión la demanda de ancho de banda aumenta, trayendo como consecuencia un aumento en la probabilidad de ocurrencia de colisiones. El puenteo consiste en dividir ese segmento grande de transmisión en partes y así separar los dominios de colisión para disminuir la probabilidad de ocurrencia de ese fenómeno.

Para poder lograr este cometido, el puente almacena en una tabla las direcciones MAC y sus puertos asociados. De esta forma el dispositivo está en capacidad de descartar tramas que no estén dirigidas a un segmento o dominio de colisión específico.

Debido a que un puente sólo tiene dos puertos, éste sólo puede dividir un segmento de la red de datos en dos partes. Surgió entonces la necesidad de un dispositivo que permitiera a cada puerto crear un dominio de colisión. El dispositivo capaz de realizar esto es el *switch*.

Un *switch* básicamente funciona como un puente multipuerto. Puede tener decenas de puertos dependiendo del modelo a implementar. Cada uno de los puertos del *switch* genera un dominio de colisión. De forma parecida que los puentes, los *switches* crean y mantienen de forma dinámica una tabla de memoria de contenido direccionable (CAM), la cual contiene toda la información necesaria para cada puerto del mismo.

Una de las capacidades producto de la creación de dominios de colisión formados por dos nodos al utilizar *switches*, es que al utilizar par trenzado es posible que las señales pasen a través de ambos pares de forma simultánea. Esta capacidad es conocida como *full dúplex* y es aceptada por la mayoría de los *switches* y tarjetas de interfaz de red. Cuando el modo *full dúplex* se establece, el dominio de colisión desaparece ya que no existe contención para los medios. Teóricamente el ancho de banda se duplica cuando se utiliza full dúplex.

Con la aparición de microprocesadores y memorias de mayor velocidad, se hizo posible la reducción de los retardos causados por el procesamiento de software. Las operaciones de los *switches* se realizan utilizando un circuito integrado de aplicación específica (ASIC), el cual permite al *switch* ubicar un puerto asociado a una dirección MAC sin utilizar un algoritmo de búsqueda.

### **2.1.9 LAN virtuales**

Las LAN virtuales o VLAN's son una importante característica de la conmutación Ethernet que consiste en la creación de grupos lógicos de estaciones y dispositivos de red. Las VLAN optimizan el desempeño general de la red agrupando a usuarios pertenecientes a una misma clasificación sin importar su ubicación física. A pesar de que estos dispositivos se encuentran en segmentos físicos distintos de la LAN, su interacción se realiza como si efectivamente estuviesen en el mismo segmento.

El tráfico en las VLAN está restringido únicamente al tráfico perteneciente a la misma VLAN, lo que significa que los dispositivos de una VLAN solo se comunican con los dispositivos que pertenecen a la misma VLAN. Esto permite realizar el filtrado de *broadcast*, brindar seguridad y gestionar el flujo de tráfico en una red de datos. Además, las VLAN simplifican las tareas de modificaciones de la red, al agilizar los procedimientos de agregados o cambios de usuario de sitio.

Para poder establecer la comunicación entre distintas VLAN es necesaria la presencia de un *router*, el cual tiene la capacidad de enrutar, ya que la comunicación entre distintas VLAN no se realiza a través de direcciones MAC sino a través de direccionamiento IP.

Existen varios tipos de VLAN: Las basadas en puerto, las basadas en direcciones MAC y las basadas en protocolo.

Las VLAN basadas en puerto son el método de configuración de las mismas más común. Consiste en asignar manualmente la VLAN correspondiente en un puerto o varios puertos de uno o más *switches* dependiendo del diseño de la red. Se apoya en el protocolo de control de host dinámico (DHCP) para asignar las direcciones IP a las estaciones de la red.

Las VLAN basadas en MAC, utilizan un servidor de configuración de VLAN, el cual detecta la dirección MAC del dispositivo que se conecta al *switch* y le asigna la VLAN correspondiente al puerto. Esta implementación no es muy frecuente y su gestión es complicada.

Las VLAN basadas en protocolo se configuran de forma similar a las MAC, sólo que utilizan direcciones IP. Debido a la existencia de DHCP ya no es común su implementación.

#### **2.1.10 Listas de control de acceso (ACL)**

Las listas de control de acceso son un conjunto de sentencias que permiten o restringen el acceso de información en interfaces entrantes o salientes de un *router*.

Se necesitan configurar ACL's en *routers* fronterizos, que son aquellos situados en las fronteras de alguna red, para brindar mayor seguridad. Esto brinda protección básica contra la red externa u otra parte menos controlada de la red, por parte de un área más privada de la red. En los *routers* fronterizos, es posible crear ACL's para cada protocolo de red configurado en las interfaces del *router*.

## **2.2 Control de procesos industriales**

A través del tiempo el control de procesos industriales ha ido evolucionando hacia un grado de automatización cada vez más alto. Estos importantes sistemas, encargados de la medición y el control en las industrias, deben brindar un funcionamiento correcto de los procesos en las mismas que traiga como consecuencia un balance adecuado entre costos y producto final.

Esta evolución se ha dado gracias a los avances tecnológicos en distintas áreas de la ingeniería. Atrás han quedado las épocas donde un operador observaba directamente el proceso, tomaba nota del mismo y realizaba ajustes manuales en los dispositivos de instrumentación, basado en instrucciones de operación y en su experiencia. Actualmente estos sistemas son una suma de la más avanzada tecnología en las áreas de electrónica, informática, automatización y comunicaciones; que permiten monitorear, controlar y llevar un registro de todos los procesos industriales eficientemente. Es así posible controlar automáticamente los procesos industriales, minimizando el esfuerzo en control manual y optimizando el tiempo de respuesta ante cualquier evento en el proceso.

Hace algunos años estos sistemas de control eran administrados por un computador central el cual se encargaba de recibir todas las entradas del proceso, ejecutar los cálculos apropiados y producir las salidas hacia los dispositivos finales de control. Este tipo de control se llamó control centralizado. A pesar de los beneficios que este tipo de control brindaba, el hecho de responsabilizar a una sola estación de trabajo de todo el control de los procesos de una planta acarrea desventajas

importantes: Estrictas condiciones de procesamiento y velocidad del ordenador al manejar gran cantidad de variables; si el ordenador llegase a fallar todo el proceso se vería afectado, lo cual obliga a utilizar redundancia a nivel de este equipo generando grandes costos; ante una ampliación del sistema deberá contarse con un equipo sobredimensionado a fin de garantizar la escalabilidad, lo cual también es muy costoso. Como solución a este tipo de desventajas, se desarrollaron los sistemas de control distribuido.

### **2.2.1 Sistemas de Control Distribuido (DCS)**

A diferencia de los clásicos sistemas centralizados, los cuales concentran todo su poder de control en un único elemento, los sistemas de control distribuido reparten su potencia de tratamiento de la información en todo el espacio. Esto brinda una mayor seguridad y flexibilidad en la red de control.

La filosofía de funcionamiento de los sistemas de control distribuido, es entonces, la transferencia de tareas específicas a distintas unidades de control repartidas en todo el sistema. Estos controladores digitales tienen la capacidad de controlar individualmente un cierto número de variables, con lo cual disminuye considerablemente el riesgo de fallas en el sistema.

Básicamente estos sistemas están formados por los siguientes elementos: Unidades de interface con campo I/O (*in/out*); unidades de cálculo o procesadores de control, que pueden ser o no redundantes; unidades de almacenamiento de datos históricos; pantallas de acceso para operación y para ingeniería.

Los sistemas de control distribuido son sistemas propietarios cuyos dispositivos y aplicaciones dependen del fabricante. Sin embargo tienen la capacidad de admitir dispositivos de instrumentación y control de otros fabricantes, es decir, son sistemas de arquitectura abierta que permiten sin ningún problema la interconexión de dispositivos de distintos proveedores.

En la mayoría de los casos los sistemas de control distribuido se apoyan en otros sistemas de control, como los PLC (Controlador Lógico Programable) y los SCADA (Control Supervisorio y Adquisición de datos), para complementar y brindar otras funciones al sistema. También tienen la capacidad de comunicarse con otras estaciones encargadas de gestionar el proceso, control avanzado, modelos matemáticos, entre otras actividades.

### 2.2.1.1 Arquitectura de un Sistema de Control Distribuido

Los Sistemas de Control Distribuido están formados por varios niveles de control, los cuales trabajan en conjunto a fin de ejecutar tareas complejas con la mayor efectividad posible y el máximo aprovechamiento en el uso de recursos. En la figura 2.1 se observa un esquema genérico de un DCS.

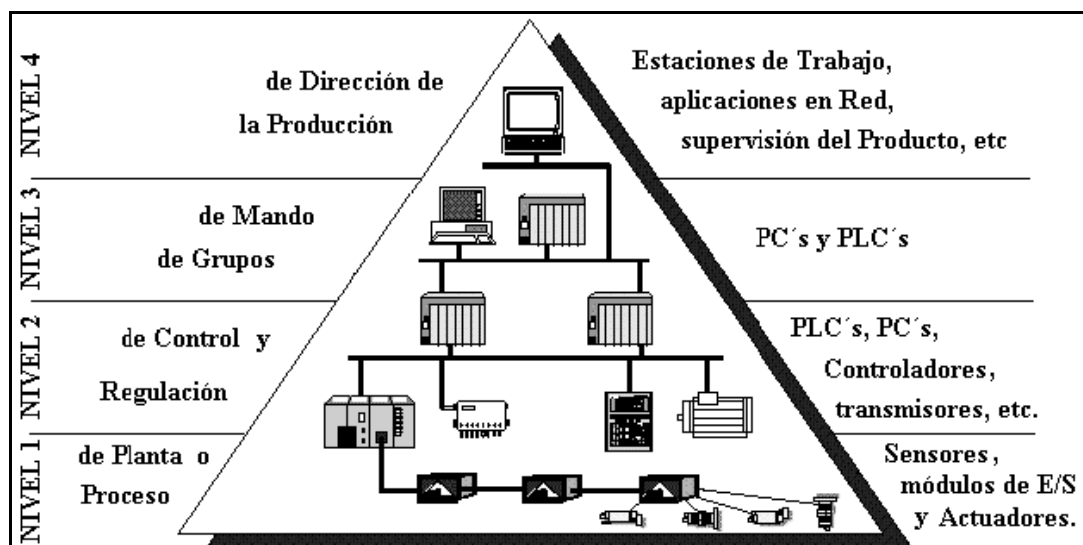


Figura 2.1 Niveles que intervienen en un Sistema de Control Distribuido (DCS) [5]

El nivel 1, o nivel de planta, es aquel que se encuentra físicamente en contacto con el entorno a controlar. Se utilizan sensores, actuadores y módulos I/O, los cuales transmiten y reciben información utilizando un bus de comunicaciones. Su función principal es comunicar al DCS de las condiciones del proceso en todo momento y realizar ajustes de acuerdo a la lógica de control programada en niveles superiores de la arquitectura.

En nivel 2, o nivel de control, se encuentran las interfaces de operaciones de cada uno de los procesos controlados en el nivel de planta. Se encuentra en este nivel los procesadores de control y las estaciones de consola donde los operadores pueden observar el proceso y tomar decisiones vinculadas al mismo. En este nivel se encuentran también elementos como PLC y sistemas SCADA. Estos elementos se comunican con el DCS haciendo uso de puentes de comunicación adecuados, poniendo a disposición de los operadores toda la información adquirida por los mismos. Es importante destacar que en muchas oportunidades podemos encontrar elementos de este nivel presentes en el nivel 1. Por ejemplo, el caso en que algún procesador de control o una estación SCADA ubicada en este nivel lleve el mando de otros dispositivos de control, con prestaciones específicas, ubicados cerca del proceso.

En el nivel 3, llamado nivel de mando de grupos o nivel de ingeniería, se encuentran estaciones de trabajo y servidores con aplicaciones específicas que permiten controlar y supervisar la línea de producción. En este nivel se realizan las configuraciones y modificaciones a la lógica de control que regirán los procesos de los niveles inferiores. Se puede encontrar en este nivel servidores históricos donde son almacenados todos los datos de control del proceso en planta.

En el nivel 4, llamado nivel de dirección de producción o nivel administrativo, se encuentran estaciones de trabajo con aplicaciones especiales que permiten adquirir los datos ubicados en los servidores del nivel 3 para analizarlos y compartirlos entre distintos departamentos relacionados con los procesos de producción. Es en este nivel donde se toman las decisiones administrativas que

regirán la producción, así como la simulación de estrategias a nivel de ingeniería que pudieran ser establecidas en el proceso.

Toda esta estructura de control debe estar soportada por una plataforma de comunicaciones lo suficientemente robusta como para brindar la eficiencia en la comunicación de los distintos niveles.

### **2.2.1.2 Comunicación entre los diferentes niveles en un DCS**

La arquitectura de un DCS tiene forma piramidal. Las distintas redes de datos van desde los niveles inferiores de campo, hasta los niveles superiores de administración. “Se puede hablar en realidad de dos tipos de redes: redes de control y redes de datos. Las redes de control están ligadas a la parte baja de la pirámide, mientras que las redes de datos (o de oficina) están más ligadas a las partes altas de la jerarquía”. [6]

A pesar de esta aseveración es posible encontrar redes de datos basadas en tecnología Ethernet, referidas a redes de área local y dispositivos bajo el estándar IEEE 802.3, en los niveles inferiores de la arquitectura de un DCS. Esto se debe a que muchos de los dispositivos de automatización e instrumentación actualmente en el mercado, tienen la capacidad de transmitir sus datos utilizando esta tecnología de forma eficiente. Por ejemplo, en la actualidad existen muchos PLC que tienen interfaces físicas Ethernet las cuales le permiten comunicarse con estaciones de trabajo encargadas de su supervisión como una estación SCADA; o simplemente pueden estar conectados directamente al nodo de control de un DCS a través de una interfaz Ethernet.

El presente proyecto tiene como tema principal las redes de datos referenciadas a los DCS, por lo cual las redes de comunicación de control no son estudiadas en este marco teórico. Sin embargo se puede mencionar que éstas son redes especiales que trabajan con un gran número de pequeños paquetes, donde el uso del protocolo Ethernet resulta ineficiente en comparación a otros protocolos de

comunicación de control. Esto se debe a un tema de caída en la cantidad de información que una red Ethernet es capaz de transportar al utilizarse por encima del 35% del canal con tráfico de muchos paquetes de pequeño tamaño.

Se pueden encontrar entonces, en los niveles de planta, control y mando de grupos de un DCS, los siguientes protocolos y soluciones de comunicaciones: *Profibus, Fieldbus, Hart, Modbus* entre otros; además de los casos donde Ethernet sea aplicable así como Token Ring.

### **2.2.2 Ethernet industrial**

Este protocolo representa una solución abierta y estándar en las redes industriales. Éstas aprovechan los medios físicos y la tecnología de comunicaciones que brinda Ethernet, además de la mayor comunidad de proveedores en el mundo. Ethernet, permite a los sistemas industriales operar con una tendencia tecnológica actual y obtener acceso a datos en los dispositivos de control a través de internet.

Esta red abierta, utiliza el estándar de comunicación física y de datos IEEE 802.3, el conjunto de protocolos TCP/IP y el protocolo de control e información CIP. TCP/IP, protocolo de transporte y de red de internet, proporciona una serie de servicios que pueden ser utilizados por una pareja de dispositivos para el intercambio de datos. Se utiliza también el protocolo UDP/IP, protocolo de datagrama de usuario, el cual proporciona un eficiente y rápido transporte de datos, lo cual es una necesidad para el intercambio de información en tiempo real que los sistemas industriales necesitan. La tecnología de conmutación introducida por Ethernet y la transmisión de datos *full-duplex*, minimiza las colisiones de datos y aumenta el rendimiento de la red.

Estas redes utilizan por lo general una topología de estrella activa donde los dispositivos finales están conectados al conmutador punto a punto. Esta topología tiene como ventaja la posible combinación de dispositivos que trabajen a velocidades de 10 y 100 Mbps, donde el conmutador se encarga de auto negociar las velocidades.

Además, esta topología permite depurar, realizar cableado estructurado y detectar fallas rápidamente.

Con Ethernet industrial es posible cubrir distancias largas: en una LAN, utilizando *switching*, hasta 200 km; en una WAN se extiende a todo el mundo mediante el uso del protocolo TCP/IP.

La siguiente tabla muestra las características principales de la tecnología Ethernet industrial:

Tabla 2.1 Características técnicas de Ethernet industrial

| <b>Estándar</b>                | Ethernet según IEEE 802.3                                                 |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>Método de acceso</b>        | CSMA/CD                                                                   |
| <b>Velocidad</b>               | 10/100 Mbps                                                               |
| <b>Medio de transmisión</b>    | Eléctrico: Cable coaxial, par trenzado industrial<br>Óptico: Fibra óptica |
| <b>Número de participantes</b> | Sobre los 1000                                                            |
| <b>Distancia de red (LAN)</b>  | Hasta 200 Km con tecnología de <i>Switching</i>                           |
| <b>Topología</b>               | Línea, estrella, anillo.                                                  |
| <b>Aplicaciones</b>            | Comunicación de datos y Multimedia                                        |

Esta tecnología ha tenido una aceptación muy grande a nivel mundial en los últimos años por lo que el costo por cada nodo de dispositivos que usen Ethernet disminuye rápidamente. Esto ha causado gran auge en su utilización en los sistemas industriales, específicamente en los sistemas de control distribuido.

### 2.2.3 Sistema *Invensys I/A*

El sistema *Invensys I/A*, es el sistema de control distribuido propietario que utiliza la empresa PetroMonagas. Ésta es una plataforma de control abierta en la cual funcionan cientos de paquetes de aplicaciones de *Invensys*, así como de otros fabricantes. En la figura 2.2 se observa la arquitectura del sistema I/A de *Invensys*.

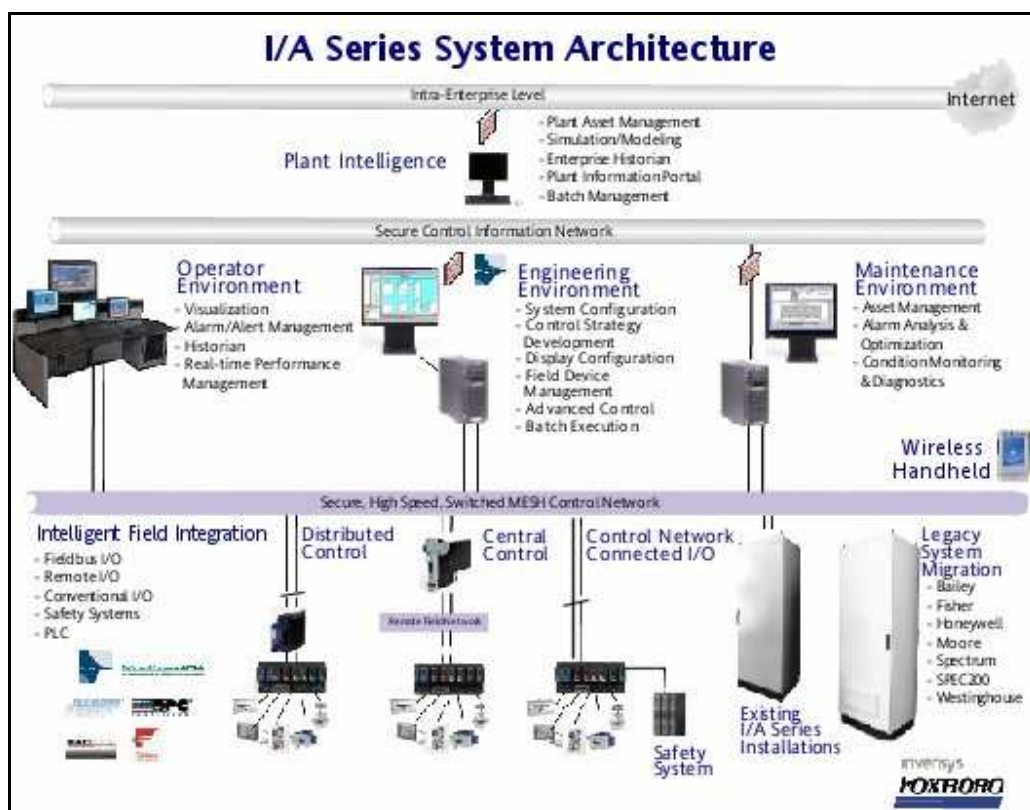


Figura 2.2 Arquitectura del sistema de control distribuido I/A de *Invensys* [7]

Esta arquitectura es consistente con la arquitectura descrita para los DCS en el punto 2.2.1.1.

En el nivel inferior o de campo se tienen unidades de control como PLC, módulos FCM y FBM (*Field CommunicationModule* y *Field Bus Module*), los cuales están en contacto directo con los dispositivos de instrumentación conectados al proceso.

En el segundo nivel se encuentran los dispositivos de control CP (*Control Processors*), así como una red que se encarga de comunicar estos dispositivos con las estaciones de monitoreo y control. Es importante destacar que actualmente ésta es una red formada por *switchs* que trabajan con tecnología Ethernet (*Ethernet Mesh*). Esto se debe a que este tipo de redes permite conectar a todos los dispositivos que forman parte de la red de control utilizando una topología mallada. De esta forma existirán múltiples vías para la comunicación entre el nivel de campo y el nivel de control; además, la posibilidad de pérdida en la comunicación debido a fallas se reduce considerablemente al utilizar este tipo de topología física.

Sin embargo versiones anteriores del sistema I/A de *Invensys*, utilizan un bus de datos, llamado *Node Bus*, en vez de esta red de *switchs*. Este bus trabaja con un protocolo propietario de *Invensys* el cual basa su funcionamiento en la tecnología *Token Ring*. Una de las ventajas de este sistema de control distribuido es la compatibilidad entre las distintas versiones del I/A. A pesar de los avances tecnológicos, *Invensys* garantiza en la mayoría de los casos, la fabricación de equipos que son compatibles con distintas versiones del I/A. Por lo tanto no es de extrañar encontrar actualmente sistemas I/A formados por equipos de distintas generaciones.

En el tercer nivel se encuentra las estaciones de ingeniería, los servidores históricos de aplicaciones, paneles de visualización. Los dispositivos de este nivel están conectados en su mayoría, a la red de control y a la red administrativa que se encuentra en el nivel superior. Esta conexión se realiza a través de una red de datos Ethernet, donde sus dispositivos se encargan de la seguridad de la red del DCS.

Por último se tiene el cuarto nivel, en el cual se encuentran las estaciones de trabajo encargadas de la dirección de la producción. Éstas, como se mencionó, están separadas por un *firewall* de las estaciones del tercer nivel del DCS.

## **CAPÍTULO III**

### **EL PROYECTO**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

La investigación está enmarcada dentro de la modalidad de proyecto factible, apoyado en investigaciones de tipo documental y de campo; utilizando estas herramientas, se desarrolló una propuesta en torno a la problemática presentada en la plataforma de red datos del Sistema de Control Distribuido (DCS) de la empresa mixta PetroMonagas.

“El proyecto factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades”. [8]

#### **3.2 Fases del Proyecto**

El proyecto fue realizado en 6 fases con la siguiente estructura:

Fase 1: Documentación y Adiestramiento.

- Se conoció de forma general la plataforma de telecomunicaciones existente en la empresa mixta PetroMonagas.
- Se identificó la plataforma de red de datos existente en la empresa mixta PetroMonagas.

- Se estudió y recibió adiestramiento en el área de redes de datos: dispositivos, protocolos, configuraciones lógicas, atención de fallas.
- Se realizó una investigación bibliográfica sobre los Sistemas de Control, haciendo énfasis en los Sistemas de Control Distribuido (DCS).

#### Fase 2: Trabajo de Campo

- Se conoció de forma general el DCS del Mejorador de Crudos de PetroMonagas ubicado en el Complejo Criogénico José Antonio de Anzoátegui (Jose).
- Se recolectó información técnica sobre el mismo en los servidores del personal de automatización y en los centros de documentación disponibles en el Mejorador de Crudos.
- Se levantó la topología física del DCS del Mejorador de Crudos utilizando la técnica de observación directa.
- Se levantó la topología lógica de la plataforma de red de datos del DCS del Mejorador de Crudos utilizando técnicas de monitoreo de redes en los equipos encontrados.
- Se conoció de forma general el DCS del Campo de Operaciones de PetroMonagas (COPEM) ubicado en la Faja Petrolífera del Orinoco específicamente en Morichal.
- Se recolectó información técnica sobre el mismo en los servidores del personal de automatización y en los centros de documentación disponibles en el COPEM.
- Se levantó la topología física del DCS del COPEM utilizando la técnica de observación directa.
- Se levantó la topología lógica de la plataforma de red de datos del DCS del COPEM utilizando técnicas de monitoreo de redes en los equipos encontrados.

### Fase 3: Análisis de Resultados

- Se estudiaron los resultados obtenidos del trabajo de campo realizado en el DCS del Mejorador de Crudos de PetroMonagas en Jose.
- Se estudiaron los resultados obtenidos del trabajo de campo realizado en el DCS del COPEM en Morichal.

### Fase 4: Diseño de la Propuesta

- Se diseñó la propuesta de adecuación y mejora de la plataforma de red de datos del DCS del Mejorador de Crudos de Petromonagas.
- Se diseñó la propuesta de adecuación y mejora de la plataforma de red de datos del DCS del COPEM.

### Fase 5: Factibilidad y Beneficios de la Propuesta

- Se estudió la factibilidad de la propuesta a nivel técnico, operativo y económico.
- Se identificaron los beneficios de la propuesta.

### Fase 6: Presentación de la Propuesta

- Se expuso la propuesta ante la Gerencia y equipo de AIT de PetroMonagas.
- Se entregó el informe de la propuesta a la Gerencia de AIT de Petromonagas incluyendo conclusiones y recomendaciones sobre los sistemas estudiados.

### 3.3 Desarrollo del Proyecto

#### 3.3.1 Plataforma de red de datos de PetroMonagas

El punto de partida en la realización del proyecto fue conocer y entender de manera general la plataforma de red de datos de la empresa mixta PetroMonagas. Esto con la finalidad de localizar la red del Sistema de Control Distribuido (DCS), principal objetivo de la investigación.

Producto del adiestramiento inicial en el área de redes de datos y específicamente en la red de la empresa se logró caracterizar la plataforma de red de la misma y ubicar la red del DCS. A continuación, se describe de forma general como está conformada la plataforma de red de datos de PetroMonagas.

La empresa mixta PetroMonagas está conformada por tres localidades principales: Caracas, Jose y COPEM. En cada localidad existe una LAN (*Local Area Network*), la cual está asociada a las LAN de las otras localidades mediante el uso de enlaces WAN (*Wide Area Network*). Estos enlaces WAN permiten la comunicación telefónica y de datos entre las localidades que conforman la empresa.

Los distintos enlaces WAN utilizados para el establecimiento de la comunicación entre las tres localidades de PetroMonagas son los siguientes: entre Caracas y COPEM se tiene un enlace de tipo *frame relay* con un ancho de banda de 1024 Kbps arrendado por la empresa CANTV; entre Caracas y Jose se tiene también un enlace *frame relay* arrendado por la empresa CANTV, pero de 2048 Kbps; y entre COPEM y Jose se tiene un enlace de fibra óptica propiedad de la empresa.

Por motivos administrativos parte del personal de PetroMonagas necesita comunicarse con la red de PDVSA; se habilitó entonces, un enlace de microondas entre la sede de PetroMonagas en Caracas y la sede de PDVSA ubicada en La Campiña. Este enlace permite la comunicación telefónica y de datos entre el personal de PetroMonagas y PDVSA, así como el acceso a internet del personal de PetroMonagas que se encuentre dentro del segmento de red de PDVSA.

La figura 3.1 muestra un esquema general de la topología de red de datos de PetroMonagas, donde se observa lo anteriormente descrito:

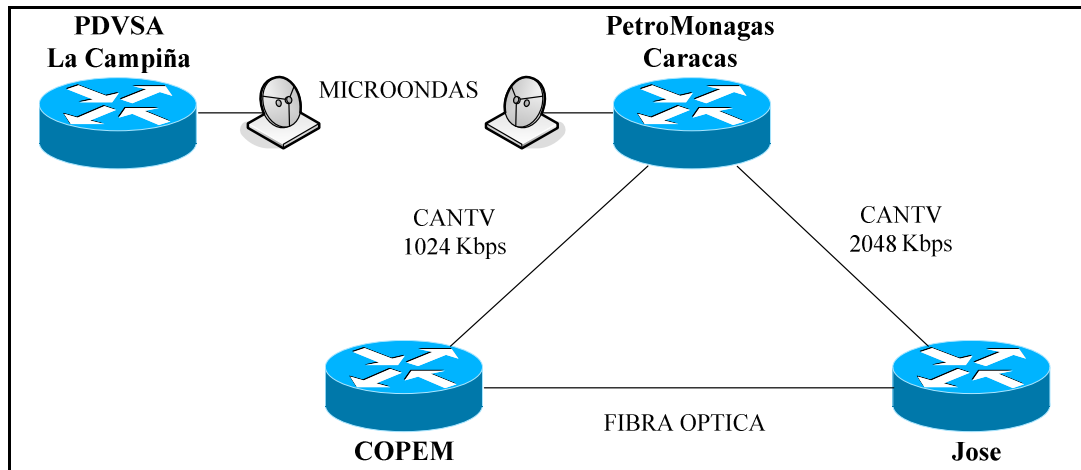


Figura 3.1 Topología general de red de datos de PetroMonagas

### 3.3.2 Ubicación del Sistema de Control Distribuido (DCS) en la red de datos de PetroMonagas

Como se ha mencionado, los sitios operativos de la empresa PetroMonagas son el Mejorador de Crudos ubicado en Jose y el Campo de Operaciones de PetroMonagas (COPEM) ubicado en Morichal. Ambos sitios utilizan un Sistema de Control Distribuido que les permite administrar y supervisar las actividades de campo en cada de una de esas plantas.

Parte del entrenamiento recibido inicialmente en la empresa consistió en conocer cómo se relacionan estos Sistemas de Control Distribuido con la red de datos de PetroMonagas. Para ello fue necesario observar en detalle cómo estaban conformadas las redes de datos de ambas localidades para así poder localizar con exactitud la interfaz entre la red del Sistema de Control Distribuido y la red Administrativa de PetroMonagas.

En la figura 3.2 se tiene un diagrama de red donde se observan de forma general las arquitecturas de red del Mejorador de Jose y del COPEM, donde además se puede apreciar la ubicación del DCS en ambas localidades:

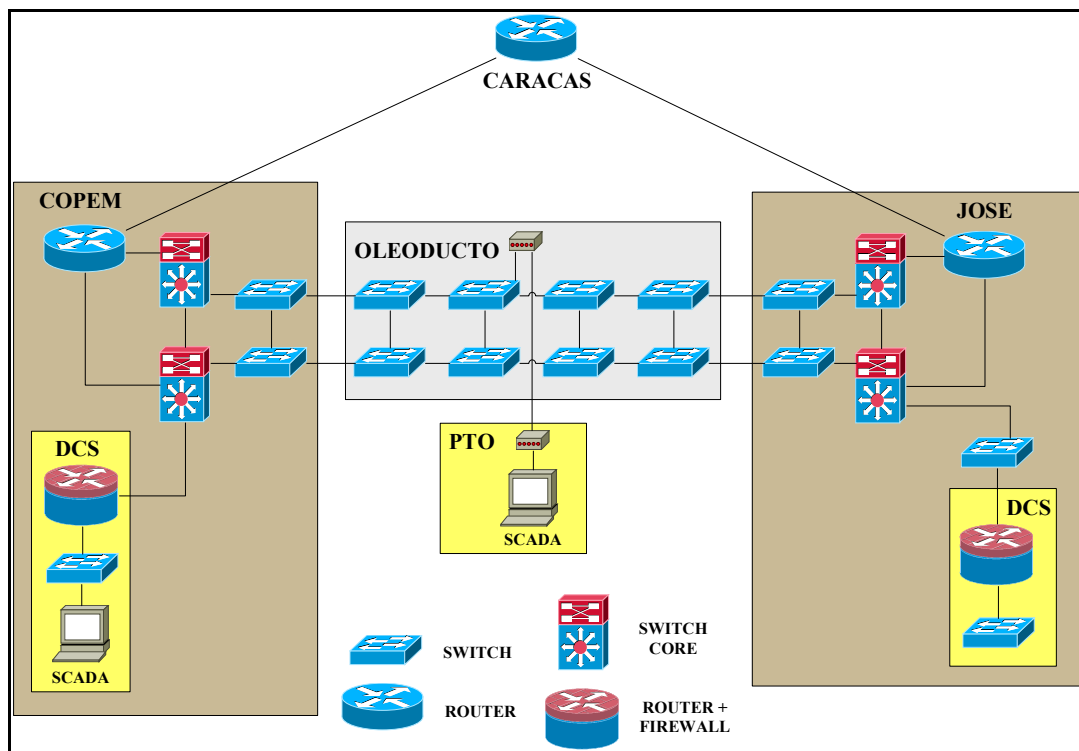


Figura 3.2 Ubicación de la red del DCS de PetroMonagas

Los sitios operativos de PetroMonagas, están conformados por un *router* principal, el cual funciona como puerta de enlace entre la red LAN del sitio y la localidad de Caracas. Además, cada uno de estos *routers* está vinculado a un par de *switch core* a los cuales están conectados todos los demás dispositivos de red pertenecientes a la red administrativa de la localidad correspondiente.

En cada sitio operativo, conectados a los *switch core*, hay también un par de *switches* con capacidades de enrutamiento que se encargan de la conexión entre ambos sitios operativos por medio de un anillo de fibra óptica. Este anillo de fibra

óptica se encuentra formado por una serie de *switches* ubicados en localidades estratégicas a lo largo del oleoducto que lleva el crudo pesado del COPEM al Mejorador de PetroMonagas en Jose.

Ahora bien, en cada sitio operativo existe una conexión desde uno de los *switch core* hacia la red del DCS. En el COPEM esta conexión es directa; están conectados el *switch core* correspondiente con el *router* de borde de la red del DCS. En el Mejorador de Jose esta conexión entre DCS y *switch core* pasa a través de uno de los dispositivos de la red administrativa; están conectados entonces el *router* de borde de la red del DCS y un *switch* que sirve de enlace entre la red del DCS y el *switch core* correspondiente.

Es importante resaltar que estos *routers* de borde cumplen con funciones de *firewall* para brindar seguridad a la red del DCS y permitir la entrada y salida de información, sólo en los casos admitidos por las listas de control de acceso que están configurados en los mismos.

Se observa además la presencia de una estación SCADA en uno de los puntos estratégicos del oleoducto. Esta estación actualmente se encuentra fuera de servicio por fallas operativas en la misma; sin embargo forma parte del DCS del COPEM, el cual recibe en otra estación SCADA, ubicada dentro del mismo, las señales de monitoreo y adquisición de datos de esa estación a lo largo del oleoducto utilizando la red administrativa de la empresa. Para hacer esto posible, el *router* de borde del DCS tiene configurada una sentencia en su lista de control de acceso la cual permite la comunicación entre esa estación SCADA y el DCS del COPEM.

Toda la información anteriormente descrita formó parte de una inducción por parte del personal técnico de la empresa, basados en documentos y levantamientos de información antiguos. Esta información necesariamente tenía que ser verificada y actualizada, por lo cual se llevó a cabo un trabajo de campo en cada localidad operativa de la empresa mixta PetroMonagas, a fin de caracterizar la plataforma de red de datos del DCS y su interacción con la red administrativa de la empresa. A continuación se describe el mencionado trabajo de campo realizado.

### 3.3.3 La plataforma de red de datos del DCS del Mejorador de Crudos de PetroMonagas

Durante un mes aproximadamente se trabajó en el levantamiento de información de la plataforma de red de datos del Sistema de Control Distribuido del Mejorador de Crudos de PetroMonagas en Jose.

Los principales objetivos del trabajo de campo fueron realizar un levantamiento completo de la topología física de la plataforma de red de datos del DCS en la localidad, así como apoyar al personal de automatización en el levantamiento de la plataforma de control, en la cual se presumía la existencia de equipos de redes con tecnología *Ethernet* en los cuales el grupo de telecomunicaciones podría hacer evaluaciones, verificar su funcionamiento y su rendimiento.

Así fue como utilizando el método de observación directa, el uso de comandos de monitoreo de redes en los dispositivos encontrados y en las estaciones de trabajo pertenecientes al DCS, se logró realizar el levantamiento de información a continuación descrito.

Como se mencionó anteriormente el DCS está vinculado a la red administrativa por medio de un *router* de borde. En la red de datos del Mejorador este *router* tiene como *hostname* *vejoswdcs1*, el cual es un *router Cisco* modelo 2651. Ingresando al modo de configuración del equipo a través de una sesión de consola se aplicaron ciertos comandos con la finalidad de observar su modelo (*show version*), configuración (*show running-config*), equipos de redes vecinos (*show cdp neighbors*), listas de control de acceso (*show access-lists*), entre otras cosas.

Con el objetivo de comprobar la conexión de este equipo con la red administrativa y de descubrir la red del DCS se ejecutó el comando *show cdp neighbors*. Este comando nos permitió constatar que el *router* de borde del DCS está conectado con un *switch* de la red administrativa de nombre *vejosxccb-1* haciendo uso

de su interfaz *fastethernet 0/0*; se descubrió también que está conectado a un *switch* de la red del DCS de nombre *vejosxdc1* a través de su interfaz *fastethernet 0/1*.

Siguiendo el mismo procedimiento se ingresó por consola al *switch* *vejosxdc1*. Este es también un equipo de marca *Cisco*, cuyo modelo es *WS-C2950G-48-EI*, y se observó que solamente tenía como vecino al *router* de borde *vejoswdcs1*. Este *switch* utiliza su interfaz *fastethernet 0/48* para el establecimiento de la conexión mencionada. Ambos equipos están localizados físicamente en una habitación del edificio de control llamada *Control Rack Room* o Sala de Gabinetes.

En la figura 3.3 se muestra el resultado del procedimiento descrito:

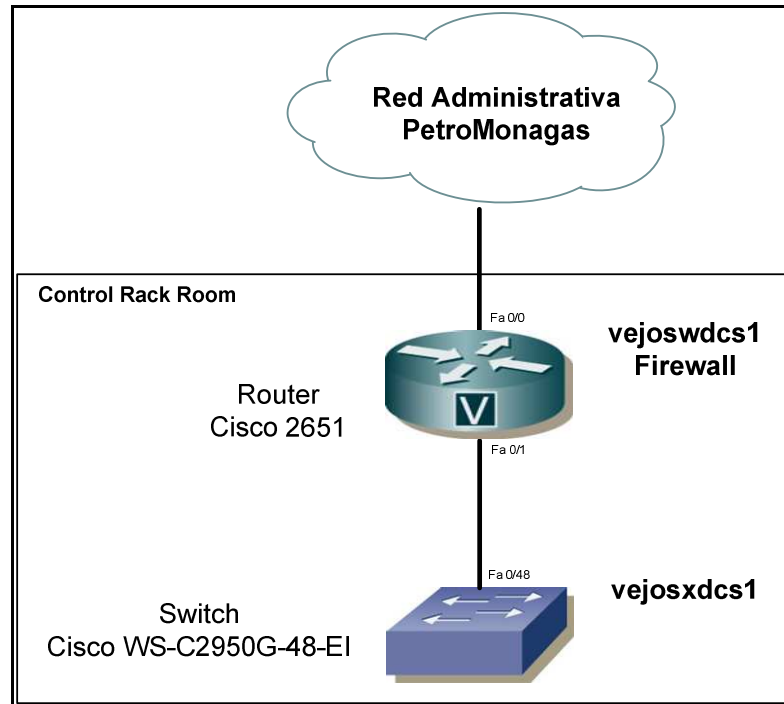


Figura 3.3 Plataforma de red de datos del DCS del Mejorador de PetroMonagas

Basados en documentos encontrados en los servidores del personal de automatización, se conoció que este *switch* *vejosxdc1* concentra todas las conexiones

de los servidores y estaciones de trabajo del DCS del Mejorador. Se ejecutaron entonces comandos de monitoreo en el mismo con la finalidad de definir qué estaciones del DCS están conectadas a este dispositivo, en cuál puerto y si pertenecían a alguna red virtual en específico.

Los comandos utilizados fueron *show running-config* y *show mac-address table*, con lo cuales se logró obtener una lista de direcciones físicas asociadas a cada puerto del *switch*, la cual se cruzó con una lista de las direcciones de las tarjetas de comunicación de red de las estaciones de trabajo del DCS.

Estas estaciones de trabajo se dividen en dos tipos según el tipo de sistema operativo que utilizan: *Windows* o *Unix*. En las estaciones con sistema operativo *Windows* la direcciones físicas se hallaron como resultado de ejecutar el comando *ipconfig -all* en el *command prompt* de *Windows*. En las estaciones con sistemas operativo *Unix* las direcciones físicas se hallaron de modo similar, ejecutando el comando *ifconfig -a* en el *command prompt* del ambiente *Unix*. El uso de estos comandos permitió conocer también las direcciones IP estáticas de todas la estaciones del DCS, encontrándose la existencia de dos redes distintas: la red que conecta las estaciones del DCS entre sí y hacia la red administrativa de PetroMonagas a través del *switch vejoxdcs1*; y la red de control, la cual utilizando otra tarjeta de red en varias de las estaciones del DCS comunica a éstas entre sí haciendo uso del nodo de control utilizado por la empresa que es un nodo de control propietario *Invensys*.

En algunos casos se tuvo que realizar el recorrido físico del cableado estructurado para dar con las estaciones conectadas al *switch*. Esto se debió a que algunas estaciones estaban bloqueadas y no se conocía su clave de ingreso al sistema; otras estaciones no estaban enviando señales por lo cual al aplicar el comando *show mac-address table* en el *switch* no aparecían vinculadas a ningún puerto.

Haciendo uso del comando *show running-config* en el *switch vejoxdcs1* se logró vincular cada estación a una de las dos VLAN encontradas. Una VLAN es utilizada para las estaciones del DCS mientras que la otra es utilizada para una red especial formada por los servidores de las aplicaciones *Data Manager* y *Trendmaster*.

En la figura 3.4 se observa cómo están vinculadas las estaciones pertenecientes al DCS al *switch vejosxdcs1*:

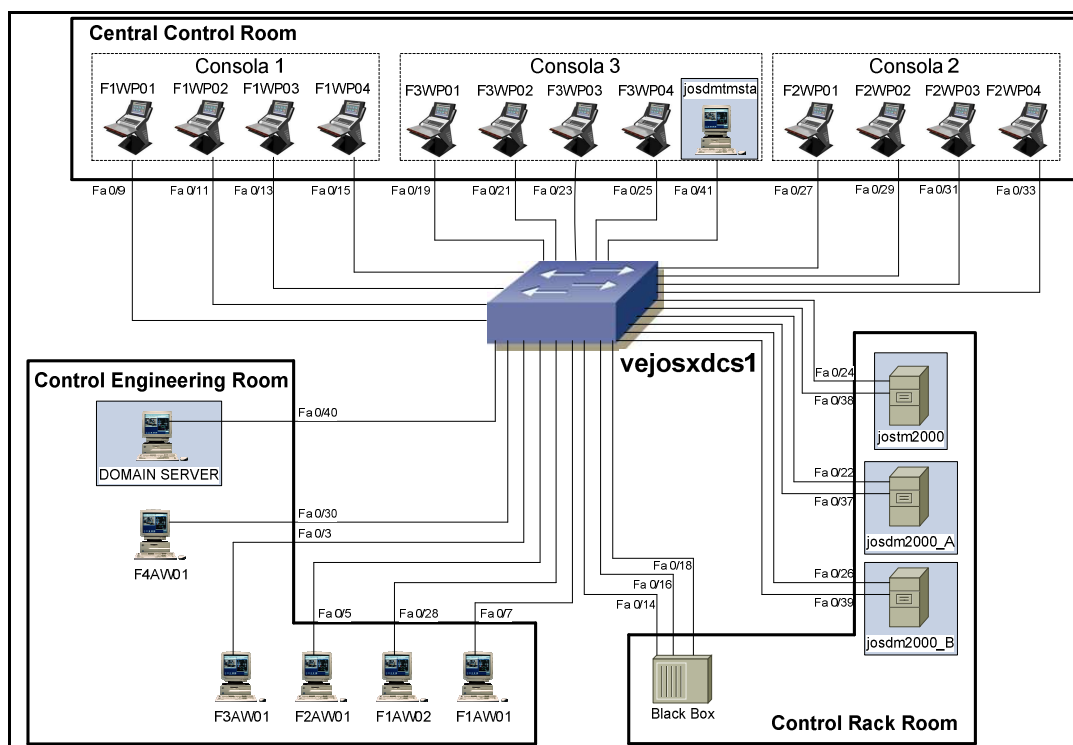


Figura 3.4 Estaciones y servidores del DCS del Mejorador de PetroMonagas

Todas las tarjetas de red de las estaciones conectadas al *switch vejosxdcs1* trabajan a 100 Mbps. Se observa además que estas estaciones pertenecen a distintas salas dependiendo de su función:

En la sala llamada *Control Engineering Room* están las cinco estaciones AW (*Application Workstation*), que son los servidores históricos y de aplicaciones de control del Sistema de Control Distribuido; también se encuentra en esta sala el servidor de dominio de los servidores de *Data Manager* y *Trendmaster*.

En la sala llamada *Control Rack Room* se encuentran los tres servidores de adquisición de datos de *Data Manager* y *Trendmaster*; y un *transceiver* de fibra

óptica multimodo a cable UTP el cual aparentemente recibe señales de campo y las envía a través del *vejosxdfs1* a las estaciones del DCS. Actualmente el personal de automatización se encuentra estudiando el origen de estas señales.

En otra sala llamada *Central Control Room* se encuentran las tres consolas donde los operadores visualizan las actividades de campo en tiempo real. En cada consola hay cuatro estaciones de monitoreo WP (*Workstation Processor*); en la consola tres se encuentra una estación de trabajo, la cual reporta las actividades de los servidores de *Data Manager* y *Trendmaster*.

Hasta este punto del levantamiento de información se tiene definida la plataforma de red de datos del DCS del Mejorador de crudos de PetroMonagas. En el apoyo prestado al personal de automatización con respecto al levantamiento de la plataforma de control se encontraron dos zonas donde equipos con tecnología *Ethernet* prestaban soporte directo a las actividades de la plataforma de control.

La primera de estas zonas es una red de *switches* la cual permite el acceso de las estaciones de ingeniería AW al nodo de control. Esta es una red formada por ocho *switches Enterasys* modelo *V2H124-24FX* los cuales se encuentran en un gabinete del *Control Rack Room*.

Los seis primeros *switches* se encargan de conectar las cuatro primeras estaciones de ingeniería a su nodo correspondiente, utilizando un par de *switches* por cada nodo: un *switch* para transmisión y otro para recepción. Estas estaciones utilizan un transceptor de UTP a fibra óptica multimodo para realizar la conexión al *switch*.

Los dos *switches* restantes están vinculados a una de las estaciones de ingeniería la cual recibe información de todos los nodos y se encarga de gestionar la comunicación entre los mismos. Con estos *switches* se tiene una topología de red mallada donde se permite a todos los nodos comunicarse entre sí.

En la figura 3.5 se observa la red que conecta las estaciones AW a los nodos de control. Esta parte de la red se suele llamar *Mesh*, traducción al inglés de malla, debido a la topología física mallada utilizada en la misma.

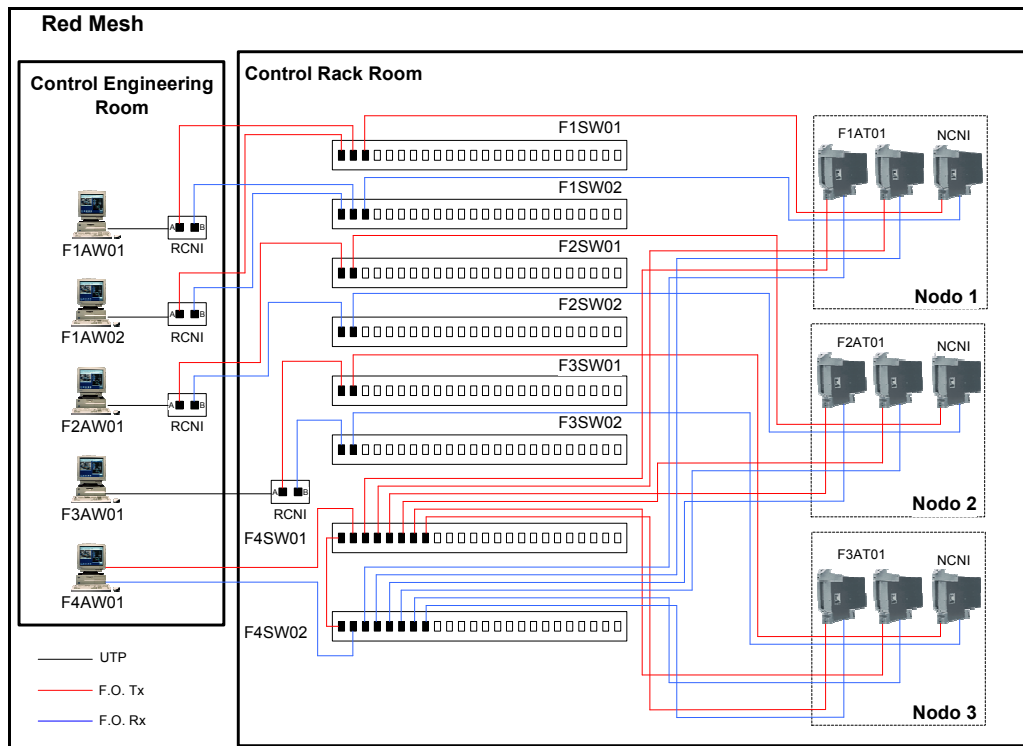


Figura 3.5 Red Mesh

La otra zona donde se encontraron equipos funcionando con tecnología *Ethernet*, fue en la parte del DCS encargada de comunicar a los procesadores de control con los *Field Bus Module* (FBM).

En cada uno de los tres nodos de control se emplean cierta cantidad de procesadores de control o *control processors* (CP), utilizando la redundancia como principio fundamental de comunicaciones. Se tiene entonces que un par de procesadores de control, los cuales cumplen funciones similares y donde uno de ellos funciona de respaldo, emplean un par de *hubs* para concentrar las señales de transmisión y recepción provenientes de los FBM's en campo.

El procesador de control utiliza un cable coaxial como medio de transmisión para conectarse al *hub*. Éste a su vez utiliza conexiones de fibra óptica para conectarse a los FCM's (*Field Communication Module*) ubicados en campo, los cuales concentran hasta treinta y dos FBM's.

Los procesadores de control utilizados en este DCS, propietarios de *Invensys*, tienen la capacidad de manejar hasta cuatro módulos FCM. Cada uno de estos módulos trabaja a una velocidad de transmisión de 2 Mbps.

En el DCS del Mejorador de Crudos de PetroMonagas se tiene un promedio de tres módulos FCM por cada *hub* utilizado. En total hay en producción veintiocho *hubs* de este tipo.

En las figuras 3.6, 3.7 y 3.8 se muestran los tres nodos de control que forman parte del DCS del Mejorador de PetroMonagas, donde se aprecia la descripción realizada anteriormente. Se pueden observar también las interfaces entre la red *Mesh*, las estaciones de monitoreo WP y la estación de reporte de alarmas (*Logmate*) con el nodo de control.

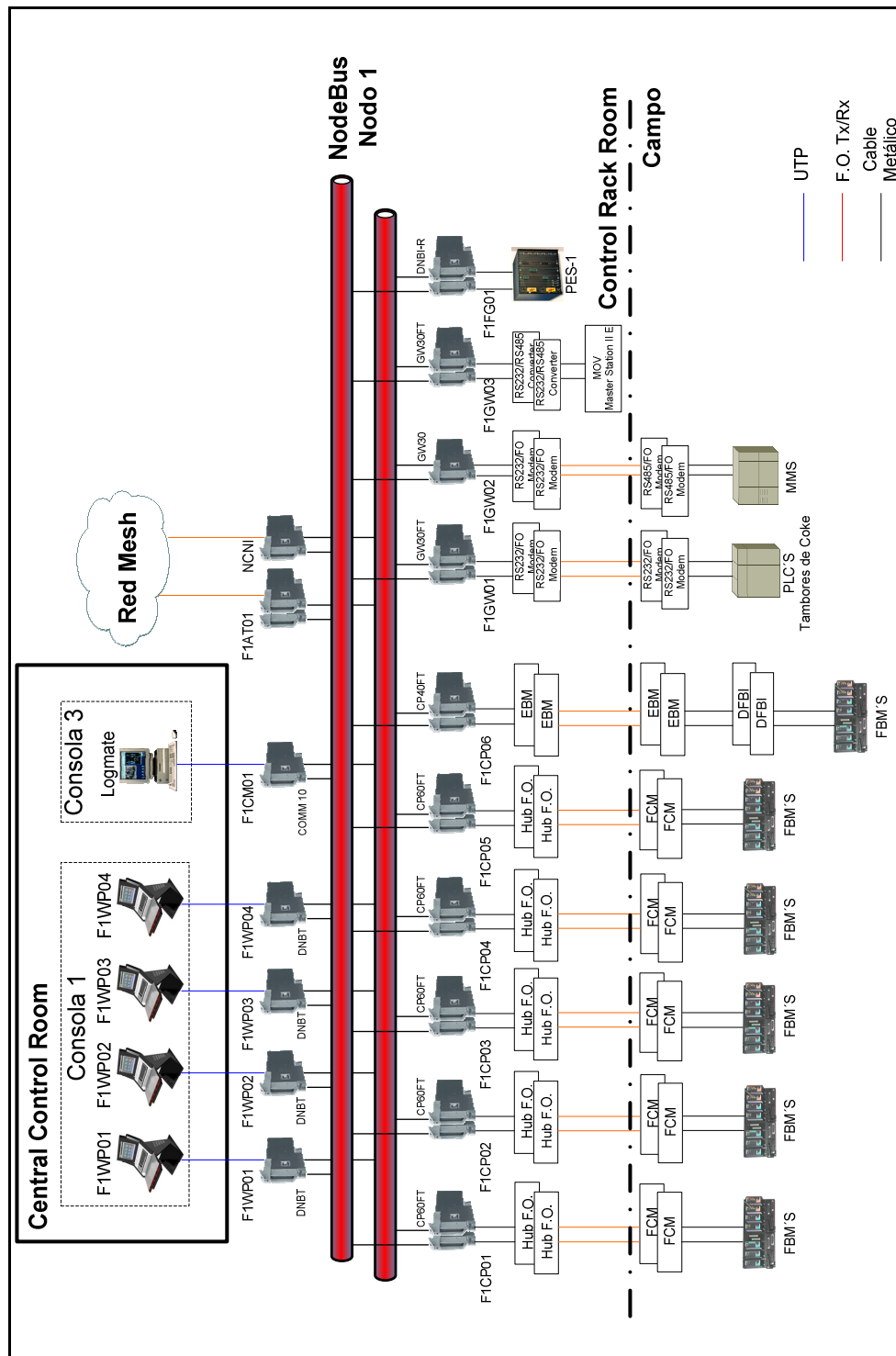


Figura 3.6 Nodo de Control 1

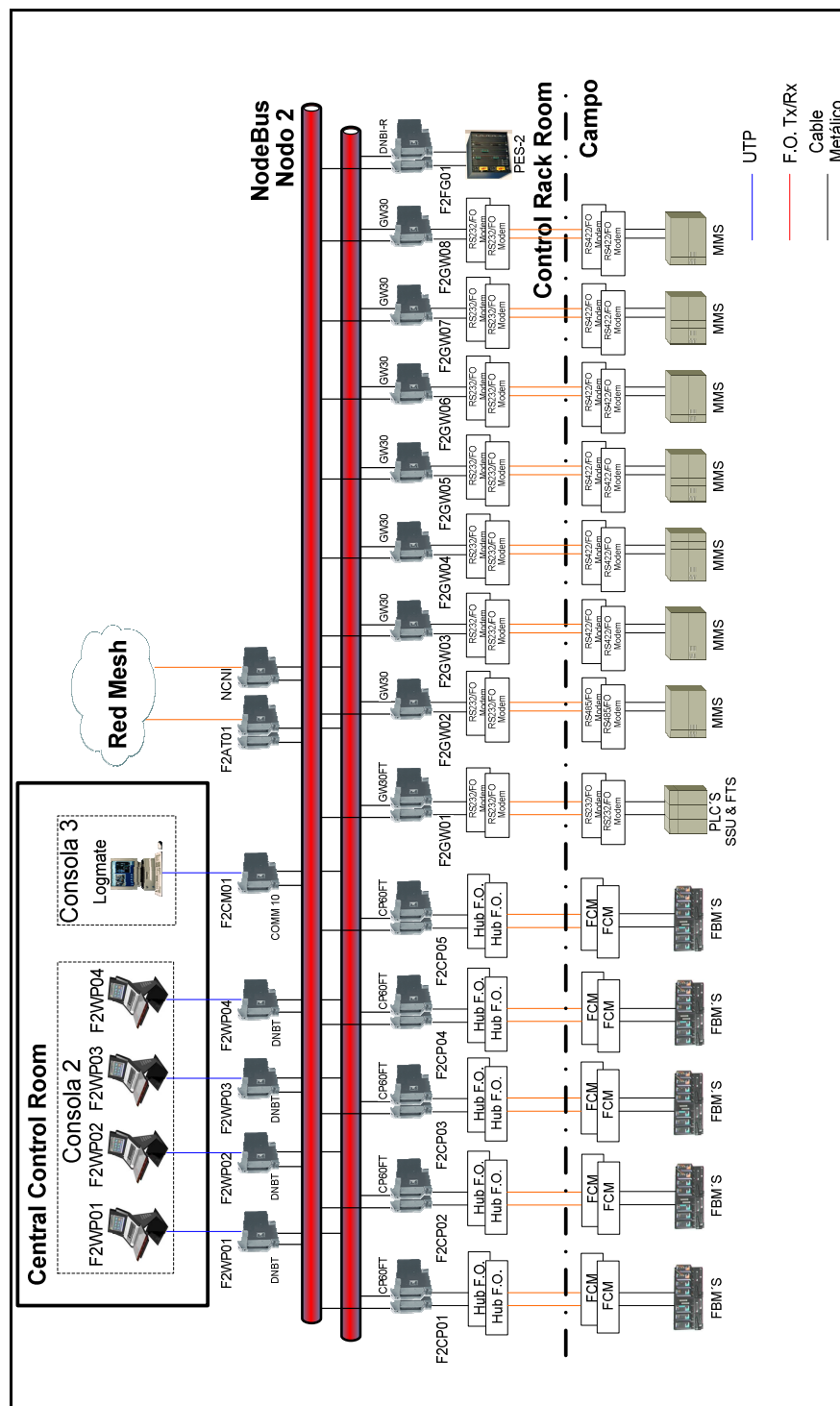


Figura 3.7 Nodo de Control 2

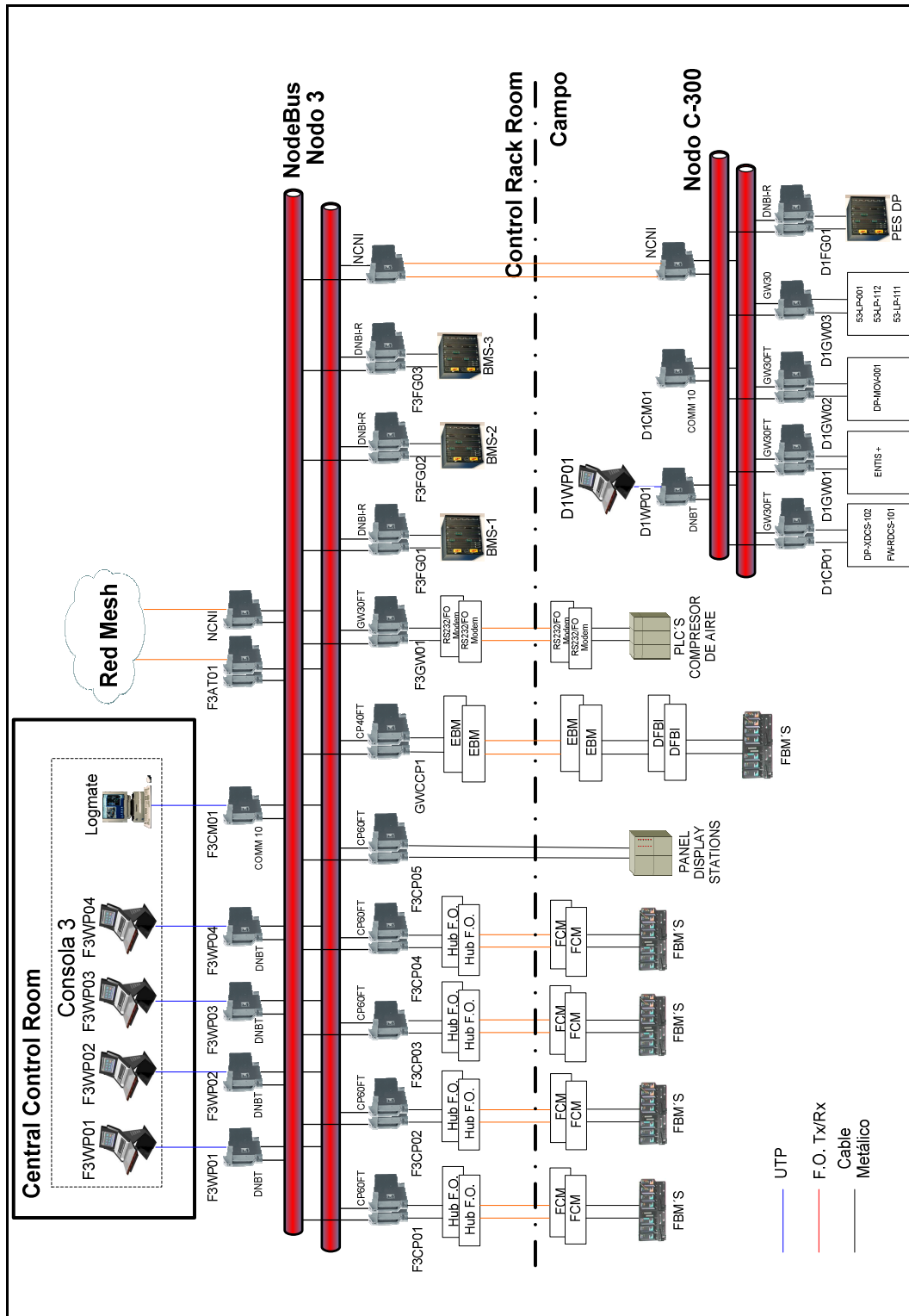


Figura 3.8 Nodo de Control 3

### 3.3.4 La plataforma de red de datos del DCS del Campo de Operaciones de PetroMonagas (COPEM)

El levantamiento de información de la plataforma de red de datos del Sistema de Control Distribuido del Campo de Operaciones de PetroMonagas (COPEM), ubicado en Morichal, fue llevado a cabo en un periodo de dos semanas aproximadamente.

Los objetivos principales en este levantamiento de información, al igual que en el DCS del Mejorador, fueron caracterizar por completo la plataforma de red de datos del DCS del COPEM y apoyar al personal de automatización con las redes y equipos pertenecientes a la red de control que utilizan tecnologías *Ethernet*.

El personal de automatización de esta localidad de PetroMonagas tenía ya caracterizada por completo la red de control del DCS e inclusive tenía peticiones específicas en el área de telecomunicaciones para este sistema.

Por lo expuesto anteriormente el levantamiento de información en la parte de la red de control, se centró específicamente en las áreas de interés expuestas por el personal de automatización, principal custodio del DCS.

Al igual que en el DCS del Mejorador ubicado en Jose, se empezó el levantamiento a partir del *router* de borde del DCS con la red administrativa de PetroMonagas. Haciendo uso del puerto de consola se accedió al modo de configuración del *router vecpfwdcs1*. Éste es un *router* marca *Cisco* modelo 7206 VXR.

Utilizando los comandos de monitoreo *show running-config* y *show access-list*, se determinó de forma general el funcionamiento del equipo y las listas de control de acceso configuradas en el mismo. Ejecutando el comando *show cdp neighbors* se observó que este *router* tiene como vecinos a uno de los *switch core* ubicado en la red administrativa de la localidad del COPEM utilizando su interfaz *fastethernet 0/0* y a un *switch* llamado *vecpfxdcs1* utilizando su interfaz *fastethernet 0/1*.

El *switch vecpfxdcs1* es también de marca *Cisco* y su modelo es *WS-C2924M-XL*. Ejecutando en éste, a través de una sesión de consola, el comando *show cdp neighbors* se logró identificar sólo la conexión al *router* de borde *vecpfwdcs1* y se descartó la presencia de algún otro dispositivo de red *Cisco* vecino. En la figura 3.9 se observa el diagrama de red conformado por estos dispositivos, que se encuentran en una habitación del edificio de control llamada *Telecom Room*.

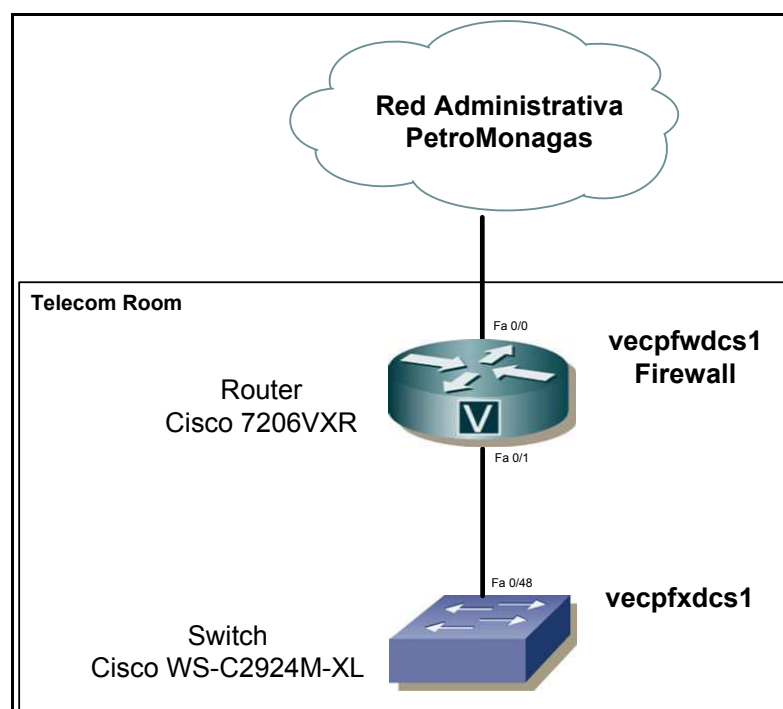


Figura 3.9 Plataforma de red de datos del DCS del Campo de Operaciones de PetroMonagas

El *switch vecpfxdcs1* concentra todas las comunicaciones entre las estaciones y servidores del DCS del COPEM. Aplicando un procedimiento análogo al empleado en el *switch vejoxdcs1* y en las estaciones y servidores del DCS del Mejorador, se logró identificar cuáles estaciones y servidores están conectados al *switch vecpfxdcs1*,

y en qué puerto. Ejecutando el comando *show running-config* en el switch se pudo observar también a qué VLAN pertenecían las estaciones encontradas.

En la figura 3.10 se observa cómo están conectadas las estaciones y servidores del DCS al mencionado dispositivo de red, destacando que todos los dispositivos pertenecen a la misma VLAN con excepción del servidor de la aplicación *Data Manager*.

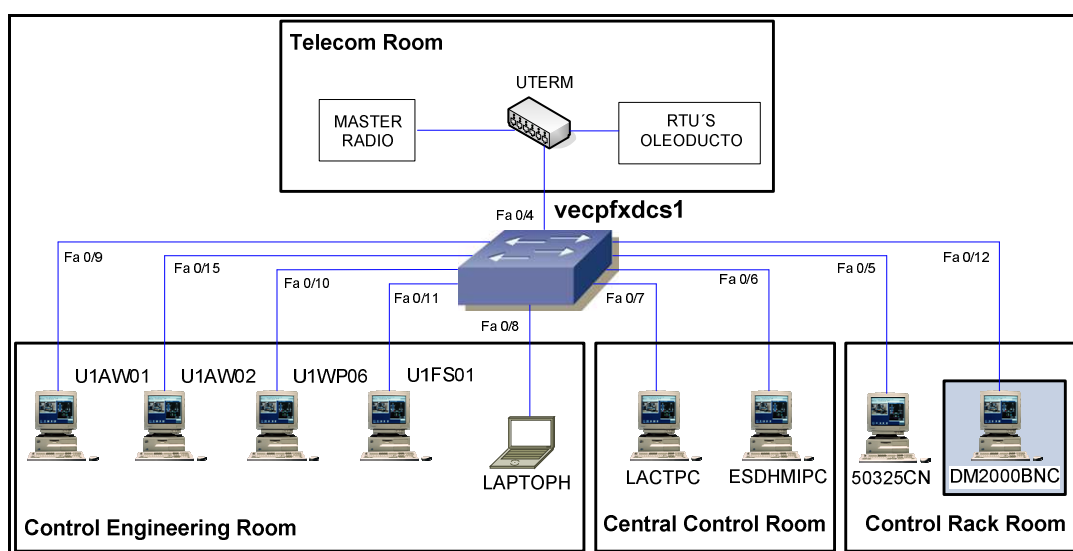


Figura 3.10 Estaciones y servidores del DCS del Campo de Operaciones de PetroMonagas

Al igual que en el DCS del Mejorador se notó la presencia de dos redes distintas: La red que comunica a las estaciones del DCS entre sí y hacia la red administrativa de PetroMonagas; y la red de control, la cual utilizando una tarjeta de red secundaria en algunas de las estaciones, las vincula al nodo de control propietario de *Invensys*.

En la figura 3.10 se observa la primera de las dos redes mencionadas donde todas las conexiones al switch manejan un ancho de banda de 100 Mbps. Cada una de

estas estaciones tiene una función específica y se encuentran en habitaciones diferentes:

En la sala llamada *Control Engineering Room* se encuentran dos estaciones AW (*Application Workstation*), servidores históricos y de aplicaciones del DCS del COPEM; una estación WP (*Workstation Processor*), utilizada para monitoreo; una estación SCADA (*U1FS01*), encargada de supervisar y adquirir datos provenientes de campo; y una *laptop* para la realización de ciertas configuraciones y respaldos.

En otra sala llamada *Central Control Room* se encuentran dos estaciones de aplicaciones especiales de control: La *LACTPC* y la *ESDHMIPC*.

En el *Control Rack Room* se encuentra otra estación de aplicaciones especiales de control (50325CN), así como el servidor de la aplicación *Data Manager*.

En el cuarto de telecomunicaciones (*Telecom Room*) se encuentra un dispositivo especial llamado *UTERM*, el cual tiene como función convertir señales provenientes de campo con protocolo serial en señales *Ethernet*. Este dispositivo es un *Terminal Server* marca *Black Box* el cual maneja las señales provenientes de las macollas 1, 2, 3 y 5 vía radio, y las señales provenientes de las RTU (*Remote Terminal Unit*) del oleoducto vía fibra óptica. Estas señales son adquiridas y supervisadas por la estación SCADA *U1FS01*.

El principal requerimiento del personal de automatización fue estudiar las redes que comunican a las macollas con el DCS. Las macollas se pueden dividir en dos grupos según su antigüedad: Macollas viejas y macollas nuevas.

Las macollas viejas (1, 2, 3 y 5) se comunican con el DCS utilizando un enlace RF que trabaja en la banda de frecuencias de 450 MHz. En cada macolla existe una RTU que se conecta a un equipo de radio a través de una conexión serial. A su vez el equipo de radio envía por medio de una antena las señales provenientes de la RTU a una estación maestra ubicada en la sala *Telecom Room*. Utilizando el mencionado *Terminal Server* estas señales se incorporan al DCS. Es importante

resaltar que el *Terminal Server* es visto por la red como una estación de trabajo más, con una dirección IP estática que le permite ser reconocido como un *host*.

Las macollas nuevas (4, 6, 7 y 8) utilizan una red de datos para enviar sus señales al DCS. Esto se debe a que en esas macollas se utiliza un dispositivo de control conocido como PLC el cual posee interfaces *Ethernet* y se les puede asignar una dirección IP.

El levantamiento de esta red se realizó a partir de diagramas de red existentes en los servidores del personal de automatización, y consistió en corroborar que esos diagramas estuvieran correctos.

Se observó que en cada una de las macollas llamadas nuevas hay un par de PLC. Estos PLC se conectan de forma redundante a un par de *switches*. En el caso de las macollas 4, 6 y 7 se determinó que estos *switches* eran de marca *Cisco* modelo *WS-C2912-XL*. La macolla 8 es aún más reciente que las antes mencionadas; los *switches* en esta, donde se conectan los PLC, son de marca *Cisco* modelo *WS-C3550-24*. Esta macolla tiene además conectado a esos *switches* otro *switch* marca *Cisco* modelo *WS-C2950-24*, al cual se conectan paneles de visualización y otros dispositivos de control.

Todos estos *switches* conectados a los PLC lo hacen por medio de cable UTP categoría 5, tanto a los PLC como a unos transceptores de UTP a fibra óptica monomodo. Se utiliza este tipo de fibra óptica debido a las distancias que separan las macollas del edificio de control, las cuales son de hasta catorce kilómetros.

Estos enlaces llegan a un gabinete en el *Central Control Room*, el cual tiene la misma cantidad de transceptores para convertir de nuevo la fibra óptica mono modo a cable UTP. Estos se conectan de forma redundante, dependiendo a que macolla correspondan, a un par de *switches* marca *Cisco* modelo *WS-C2912-XL*.

Este par de *switches* se encargan de enlazar las PLC a la estación SCADA (*SCA-26904*) responsable de adquirir la información proveniente de campo; así mismo enlazan a esta estación con una estación llamada *U1NT01* que permite introducir estos datos en el nodo de control.

La figura 3.11 muestra un diagrama general de la conexión de las macollas, tanto viejas como nuevas, con el DCS.

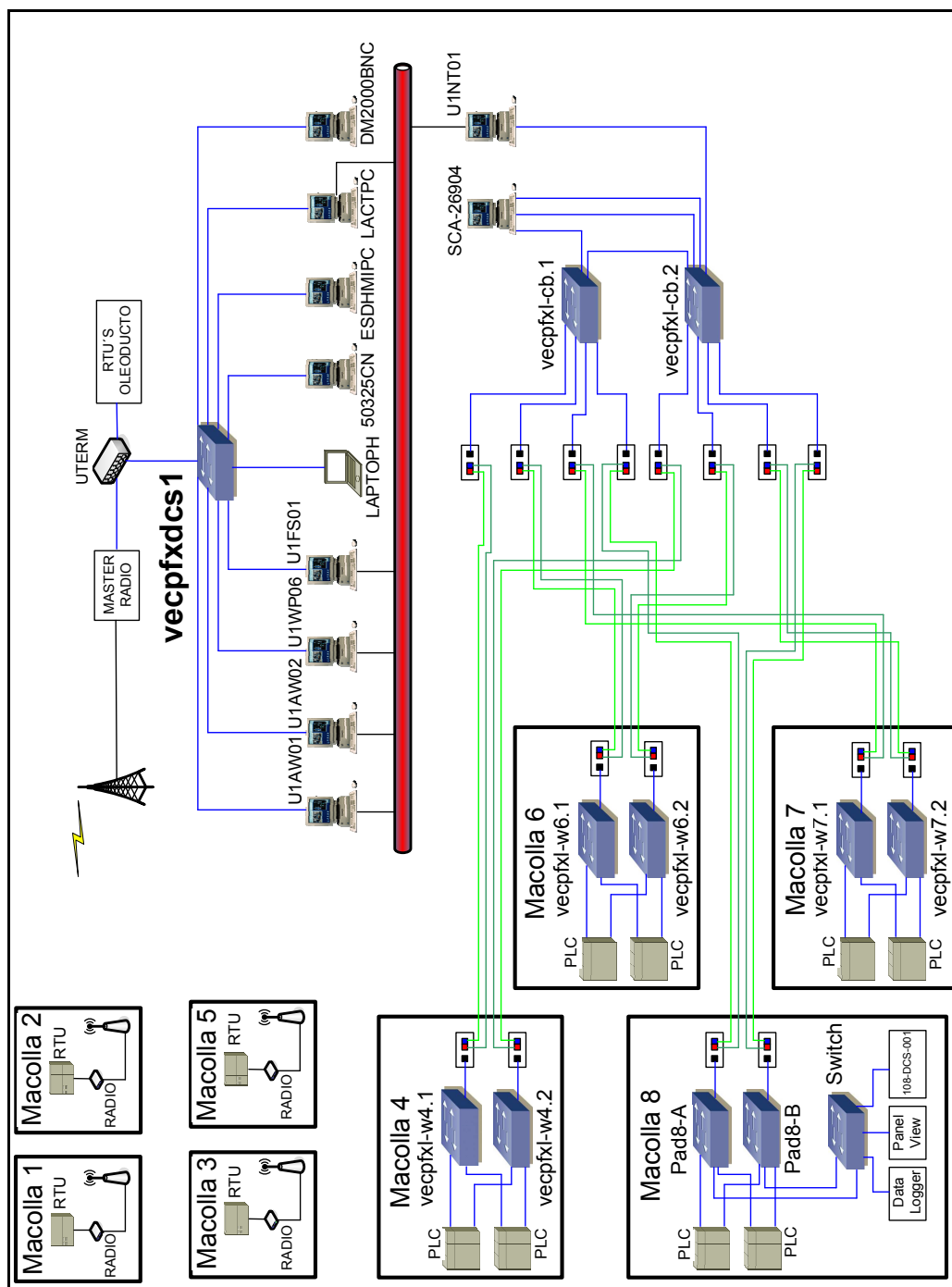


Figura 3.11 Conexión de las macollas con el DCS del Campo de Operaciones de PetroMonagas

### 3.3.5 Relación de la red de datos del DCS con la red administrativa de PetroMonagas

Como se ha descrito con anterioridad cada localidad operativa de PetroMonagas posee un Sistema de Control Distribuido, el cual se relaciona con la red administrativa de PetroMonagas. Mediante un análisis de las listas de control de acceso configuradas en los *routers* de borde de ambos DCS se pudo determinar la relación de ambos DCS con la red administrativa de PetroMonagas.

Se ejecutó entonces el comando *show access-list* en ambos *routers* y partiendo de las direcciones IP encontradas en las sentencias se realizó una búsqueda de las mismas en la red de PetroMonagas. Esto con la finalidad de identificar los equipos y dispositivos externos que podían comunicarse con la red del DCS. Se ejecutaron los comandos de monitoreo *ping* y *traceroute* en varios dispositivos de red ubicados dentro y fuera de la red del DCS, así como los comandos *ping* y *tracert* en estaciones de trabajo dentro y fuera de la misma.

En ambos *routers* se encontraron listas de control de acceso inhabilitadas o referenciadas a direcciones IP que ya no existen. También, en ambos DCS el personal de telecomunicaciones tiene acceso a los dispositivos de red haciendo uso de las cuentas creadas para tal fin en el servidor de TACACS.

En el caso del DCS del Mejorador de Crudos se permite el acceso al DCS a las siguientes estaciones: Servidor de la aplicación *PI* a todas las estaciones de ingeniería y consola del DCS; servidor de la aplicación *RBMWare* a la estación *AW F1AW01*; todas las estaciones del DCS del COPEM a todas las estaciones de ingeniería y consola del DCS; el servidor de la aplicación *Data Manager* a todos los servidores y estaciones de *Data Manager* y *Trendmaster* ubicados dentro de la red del DCS; el servidor de *Data Manager DM2000BNC* del DCS del COPEM a todos los servidores y estaciones de *Data Manager* y *Trendmaster* ubicados dentro de la red del DCS.

En el caso del DCS del COPEM las estaciones con acceso al DCS son: Servidor de la aplicación *PI* a todas las estaciones de ingeniería y consola del DCS; la estación SCADA remota ubicada en PTO a todas las estaciones de ingeniería y consola del DCS; el servidor de la aplicación *Data Manager* a todos los servidores y estaciones del DCS; todas las estaciones y servidores del DCS del Mejorador a todas las estaciones de ingeniería, monitoreo y servidores del DCS.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Análisis y discusión de resultados del trabajo de campo realizado en el Mejorador de Crudos de PetroMonagas

Se observó que los dispositivos que forman parte de la plataforma de red de datos del DCS del Mejorador de Crudos se encuentran muy cerca de su estado de obsolescencia o vencimiento de contratos de servicio. El *router* de borde *vejoswdcs1* se encuentra cerca de la fecha de *end-off-life* dada por su fabricante. Esto quiere decir que el equipo ya cumplió su vida útil y el fabricante no garantiza su correcto funcionamiento y desempeño a partir de esa fecha. De igual manera los contratos de servicio y garantía de los mismos ya no son aplicables.

El *router* de borde *vejoswdcs1*, marca *Cisco* modelo 2651, cumple su *end-off-life* el 26 de abril de 2008. El *switch* *vejosxdcs*, marca *Cisco* modelo WS-C2950G-48-EI, cumple su *end-off-life* el 30 de diciembre de 2011; sin embargo el 31 de diciembre de 2007 vencieron tres de sus contratos de servicio: Actualización de mantenimiento de *software*, análisis rutinario de fallas y agregado de nuevos servicios. Actualmente estos equipos no han presentado fallas y han funcionado óptimamente, sin embargo por tratarse el DCS de un sistema tan crítico para la empresa, es necesario tomar medidas con urgencia para la sustitución de este par de equipos. Actualmente existen en el mercado equipos con la capacidad de sustituir y mejorar el rendimiento de los anteriormente mencionados.

Se observa además la presencia de señales de campo en la plataforma de red de datos del DCS a través del transceptor *Black Box* que convierte el medio de transmisión de fibra óptica a cable UTP. Esto no es una buena práctica; lo

recomendable es introducir señales de campo en el nivel de control para ser consecuentes con la arquitectura que debería tener un Sistema de Control Distribuido.

Respecto a los *switches* *Enterasys* que forman parte de la red llamada *Mesh*, no se realizó ninguna consideración especial. Esta red *Mesh* no ha presentado fallas hasta la fecha y ha brindado las velocidades necesarias para el óptimo funcionamiento de la red de control. Además la casa de dispositivos de red *Enterasys* está aliada con *Invensys* y ambas garantizan a la empresa que su red de control va a funcionar de forma óptima con estos *switches*. En cualquier caso el contrato de servicio con *Invensys* toma en cuenta esta parte de la red ante cualquier falla y sustitución de equipos.

En la parte que corresponde a los *hubs* encargados de la comunicación de los procesadores de control y los módulos de comunicación en campo, se ha encontrado quizás el punto más crítico con respecto a obsolescencia de equipos. Estos *hubs* de marca 3Com modelo *Super Stack II Hub 10* se descontinuaron el 30 de agosto de 2001. Los últimos reportes del personal de automatización han hecho saber que se han presentado muchas fallas en el funcionamiento de la red de control a causa de estos equipos. La casa 3Com ya no fabrica estos dispositivos y es bastante complicado conseguir equipos con las características del *Super Stack II Hub 10*. A pesar de esto *Invensys* posee un equipo homólogo en interfaces y funcionamiento al 3Com por lo que se puso en marcha un proceso de compra de los mismos a fin de realizar la sustitución de estos viejos equipos. *Invensys* además garantiza la fabricación por un tiempo prolongado de este equipo.

#### **4.2 Análisis y discusión de resultados del trabajo de campo realizado en el Campo de Operaciones de PetroMonagas**

Se observó que el *router* de borde *vecpfwdcs1* es un equipo con capacidades muy superiores a las que actualmente está desempeñando. Según informaciones recibidas por parte del personal que laboraba en ExxonMobil y migró a

PetroMonagas, este equipo fue colocado de emergencia en sustitución a un *router* que dejó de funcionar por causas eléctricas. Los *routers Cisco 7206 VXR* son equipos muy robustos utilizados para LAN's y WAN's de altas densidades, que no es el caso de esta red del DCS. En definitiva este *router* podría sustituirse por otro equipo con las capacidades adecuadas y permitirá al *router* actual servir de respaldo para la red administrativa de PetroMonagas.

El *switch vecpfxdcs1*, marca *Cisco* modelo *WS-C2924M-XL*, tuvo su *end-off-life* el 30 de mayo de 2005. Este *switch* podría fallar en cualquier momento y dejar sin comunicación al DCS con la red administrativa, así como a los servidores especiales de adquisición de data, macollas viejas y RTU's del oleoducto con el DCS. Se tiene un punto crítico en ese dispositivo obsoleto el cual podría sustituirse por un *switch* moderno con mayores capacidades que el actual.

Con la introducción de señales de campo en este nivel del DCS, caso de las macollas viejas y las señales del oleoducto, se está aplicando nuevamente una práctica no adecuada con respecto a la arquitectura de los sistemas de control distribuido. Ante una eventual falla en la plataforma de red de datos del DCS se perdería la comunicación con las macollas viejas y con las RTU's del oleoducto causando pérdida de información y monitoreo, lo cual es de alto riesgo para la seguridad de la empresa.

En el caso de las macollas viejas, además de existir incesantes problemas con el sistema de radio a causa de descargas eléctricas en la zona que afectan su funcionamiento, PetroMonagas finalizó y no renovó contrato con la empresa encargada de mantener este sistema. Por esta razón se hace necesario el desarrollo de un proyecto que permita conectar las RTU's de estas macollas al DCS utilizando una red de datos. Esto se realizaría tomando en cuenta que existe el cableado estructurado de fibra óptica disponible para realizar los enlaces necesarios y que actualmente existe la tecnología en dispositivo de redes para realizar dichos enlaces.

En los *switches* de las macollas nuevas, específicamente en las 4, 6 y 7, y en el par de *switches* ubicados en el *Control Rack Room* encargados de recibir las

señales de todas estas macollas, se tienen en total ocho *switches* Cisco *WS-C2912-XL*. Estos están en *end-off-life* desde el 30 de mayo de 2005. Además, se utilizan en todas esas conexiones transceptores de cable UTP a fibra óptica, los cuales generan múltiples puntos de falla. Actualmente existen *switches* con puertos de fibra óptica que permitirían actualizar esta red y eliminar los puntos de falla generados por los transceptores de fibra óptica. La actualización de esta red es de carácter urgente, pues pone en alto riesgo la conexión de las macollas nuevas con el DCS.

La macolla 8 no posee *switches* en estado de obsolescencia. Sin embargo se utilizan dos transceptores de UTP a fibra los que podrían ser sustituidos si en los *switches* Cisco *WS-C3550-24* se habilitaran los puertos disponibles para fibra óptica. Este par de *switches* tiene su *end-off-life* el 2 de mayo de 2011, pero tiene tres de sus contratos de servicio vencidos al 2 de mayo de 2007: Actualización de mantenimiento de *software*, análisis rutinario de fallas y agregado de nuevos servicios; por lo que no se descartaría su sustitución por un modelo más reciente.

Con respecto a la seguridad de las redes de datos de los DCS de PetroMonagas se observó la utilización de listas de control de acceso en los *routers* de borde para permitir o no el intercambio de datos con el DCS. Estas listas contienen muchas sentencias que no están siendo aplicadas y causan un mayor tiempo de procesamiento en estos equipos. Se hace necesaria entonces una depuración de las mismas a fin de agilizar los procesos de intercambio de información entre el DCS y la red administrativa de PetroMonagas.

Los dos análisis anteriormente expuestos permiten reconocer con exactitud las fallas a nivel de redes de datos en los DCS de PetroMonagas. Basados en estas fallas se realizó una propuesta a fin de adecuar y mejorar la plataforma de red de datos del DCS de PetroMonagas.

## CAPÍTULO V

### LA PROPUESTA

Partiendo del análisis de resultados obtenido del levantamiento de información de la actual plataforma de red de datos del DCS de PetroMonagas, en sus dos sitios operativos, se realizó la siguiente propuesta para la adecuación y mejora de la mencionada red de datos.

Hay que destacar que la propuesta se realizó considerando ciertos aspectos técnicos y administrativos importantes. Por ser PetroMonagas una empresa mixta administrada por una filial de PDVSA, muchos de los protocolos y estándares de trabajo siguen la misma filosofía de la principal compañía petrolera venezolana. Uno de estos estándares es el empleo de equipos marca *Cisco* en sus redes de datos. Por lo tanto en la propuesta desarrollada fue tomado en cuenta este estándar.

Otra consideración tomada en cuenta fue que los líderes de AIT de PetroMonagas limitaron el estudio y la propuesta sólo a las redes de datos que forman parte del DCS de PetroMonagas. Esta limitación incluye la no modificación de los equipos del sistema de control, lo cual es jurisdicción del personal de automatización. Por lo tanto la propuesta realizada se hizo respetando los equipos de control y su función actual dentro del DCS.

El tiempo de ejecución de esta propuesta se estima para una posible parada de planta de entre quince días a un mes, sin embargo podría estudiarse en una mesa de trabajo, con el personal de automatización y operaciones, el impacto de realizarla en caliente. Esto se debe a que las paradas de planta no son muy comunes y como se expuso en el análisis de resultados, existen equipos que tarde o temprano podrían dejar de funcionar impactando negativamente el negocio.

Una vez realizada la propuesta se hizo un estudio económico con la finalidad de justificar la misma.

## 5.1 Propuesta para la adecuación y mejora de la plataforma de red de datos del DCS del Mejorador de Crudos de PetroMonagas

El análisis de los resultados obtenidos del levantamiento de información en el DCS del Mejorador de Crudos de PetroMonagas arrojó obsolescencia y vencimiento de contratos en los equipos pertenecientes a la red de datos. En el caso de las otras dos zonas del DCS no se propone ninguna mejora: La red *Mesh* funciona óptimamente y es responsabilidad de la empresa *Invensys* su mantenimiento y actualización; la solución para los discontinuados *hubs 3com* es una sustitución por un equipo homólogo, la cual se llevó acabo apenas se determinó el problema.

Tomando en cuenta la arquitectura actual de la plataforma de red de datos del DCS del Mejorador de Crudos, la cual está formada por el *router* de borde y un *switch* de 48 puertos *fastethernet* se propone la sustitución de los mismos por un equipo modular.

Además de eliminar un posible punto de falla este equipo modular tiene la capacidad de cumplir con las funciones de enrutamiento y conmutación de paquetes que necesita esta red haciendo uso de una tarjeta supervisora adecuada. Nos referimos a que pueden emularse todas las funciones que cumplían los dos equipos anteriores, e inclusive agregar funciones extras en dado caso que sean necesarias.

Por otra parte el equipo modular permite colocar la cantidad de interfaces necesarias en el mismo para cubrir todos los host de la red así como las conexiones externas. La utilización de módulos permite además tener en un mismo equipo interfaces de distintos tipos. Otra ventaja es que en caso de un posible crecimiento de la red se pueden sustituir los módulos por otros de mayor capacidad.

Esto equipos tienen redundancia a nivel de alimentación: Tienen dos fuentes de poder de las cuales una es la principal y la otra es de respaldo, lo cual hace a estos equipos sumamente confiables ante fallas eléctricas.

En el caso particular de la plataforma del DCS del Mejorador de Crudos de PetroMonagas se propone sustituir los equipos mencionados por un solo equipo

modular Cisco modelo WS-4503-E. Este equipo tiene tres *slots* cada uno de los cuales tiene una capacidad de hasta 24 Gbps. Estos tres slots se ocuparán con una tarjeta supervisora *Super Engine V* (WS-X4516), una tarjeta de 48 puertos 10/100/1000 (WS-X4548-GB-RJ45) y una tarjeta con 6 puertos para fibra óptica (WS-X4506-GB-T).

Se escoge la tarjeta *Super Engine V* (WS-X4516) por su compatibilidad con el chasis escogido y brindar las funciones necesarias, tanto en capa 2 como en capa 3 del modelo OSI, exigidas por la red. Actualmente en el mercado hay algunas tarjetas que no son compatibles con este chasis y otras cuyas capacidades son muy superiores a las necesarias en esta red. Esta tarjeta será la propuesta para todos los equipos modulares que se planteen para la plataforma de red de datos del DCS de PetroMonagas.

La tarjeta de 48 puertos 10/100/1000 (WS-X4548-GB-RJ45) se escoge ya que actualmente hay alrededor de 30 equipos conectados y se necesita cubrir esa demanda. Se toma en cuenta también la adición de nuevos equipos en futuro que se podrán conectar en los puertos sobrantes. Los actuales equipos poseen tarjetas de red que trabajan a 100 Mbps, sin embargo se escoge este modelo por tener la capacidad de manejar hasta 1000 Mbps previendo que en un futuro las estaciones de trabajo del DCS migren y manejen puertos a estas velocidades.

Se adiciona además una tarjeta con seis puertos de fibra óptica (WS-X4506-GB-T) lo que va a permitir eliminar el transceptor *Black Box* y conectar directamente los tres enlaces de fibra óptica al equipo modular. Con esto se elimina otro punto falla y se mejoran los tiempos de transmisión. Además quedan tres puertos libres que se podrían utilizar en futuros enlaces.

En la figura 5.1 se observa la plataforma propuesta para red de datos del Sistema de Control Distribuido del Mejorador de Crudos de PetroMonagas; en la figura 5.2 se observa cómo quedarían conectadas las estaciones y servidores del DCS del Mejorador de Crudos a esta nueva plataforma. Se destaca la sustitución del transceptor *Black Box* por la conexión directa de la fibra óptica desde el *patch panel* ubicado en los gabinetes del *Control Rack Room*.

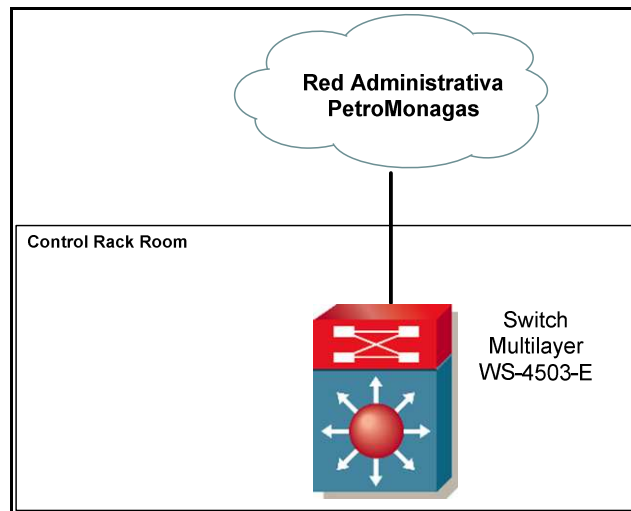


Figura 5.1 Plataforma de red de datos propuesta para el DCS del Mejorador de PetroMonagas

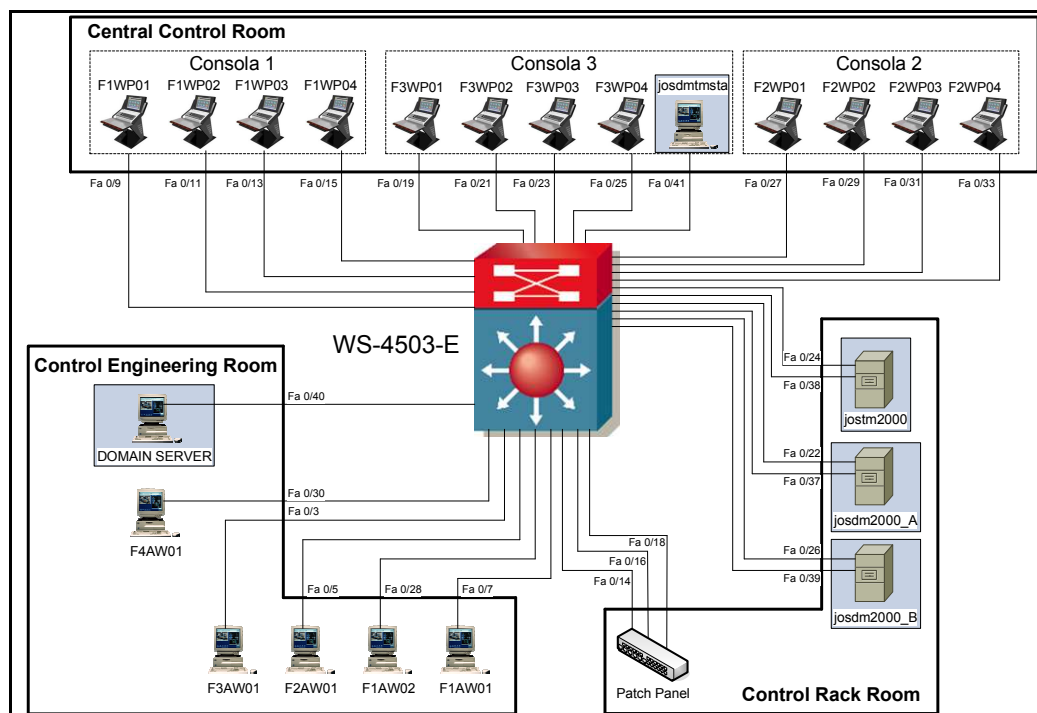


Figura 5.2 Estaciones y servidores del DCS del Mejorador de PetroMonagas

## 5.2 Propuesta para la adecuación y mejora de la plataforma de red de datos del Campo de Operaciones de PetroMonagas

Tomando en cuenta las mismas consideraciones administrativas y técnicas que en la propuesta realizada para la plataforma de red de datos del Mejorador de Crudos de PetroMonagas, se propone sustituir el *router* de borde *vecpfwds1* y el *switch vecpfxdcs1* por un equipo modular de marca *Cisco*. En análisis de resultados evidenció que el *router* utilizado en la frontera del DCS con la red administrativa de PetroMonagas es un modelo con capacidades muy superiores que las exigidas por esta red; además el *switch vecpfxdcs1* cumplió su vida útil hace ya un tiempo y pone en peligro las operaciones en la empresa. Por lo tanto es necesaria la sustitución de estos dos equipos.

Este equipo modular tiene características similares al propuesto en el caso del Mejorador: Se trata de la implantación de un chasis *Cisco* modelo *WS-4503-E* con una tarjeta supervisora *Super Engine V (WS-X4516)* y una tarjeta de 24 puertos 10/100/1000 (*WS-X4424-GB-RJ45*).

La tarjeta supervisora *Super Engine V (WS-X4516)* se escoge por los mismos motivos que en el caso de la plataforma de red de datos del DCS del Mejorador: Compatibilidad con el chasis, capacidades de capa 2 y capa 3 del modelo OSI exigidas por la red y capacidades no sobredimensionadas para la red en comparación a otros modelos existentes.

La tarjeta de 24 puertos 10/100/1000 (*WS-X4424-GB-RJ45*) cubre con la demanda actual de equipos conectados y se consideran los puertos sobrantes para el caso de adición futura de equipos. Al igual que en el DCS del Mejorador, las estaciones y servidores que se conectarían a este equipo tienen tarjetas de red que trabajan a 100 Mbps, sin embargo es importante considerar el caso de una futura migración de estas estaciones a otras que trabajen con tarjetas de red a velocidades de 1000 Mbps. Se deja un *slot* del equipo modular sin utilizar para el caso de que se

necesite adicionar una tarjeta de fibra óptica u otra tarjeta con puertos para conector RJ-45 en el futuro.

El las figuras 5.3 y 5.4 se observa la plataforma de red de datos propuesta y cómo quedarían conectadas las estaciones del DCS del COPEM en la misma.

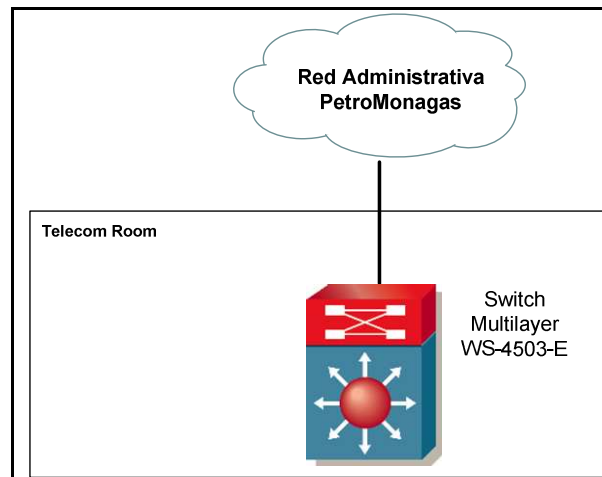


Figura 5.3 Plataforma de red de datos propuesta para el DCS del COPEM

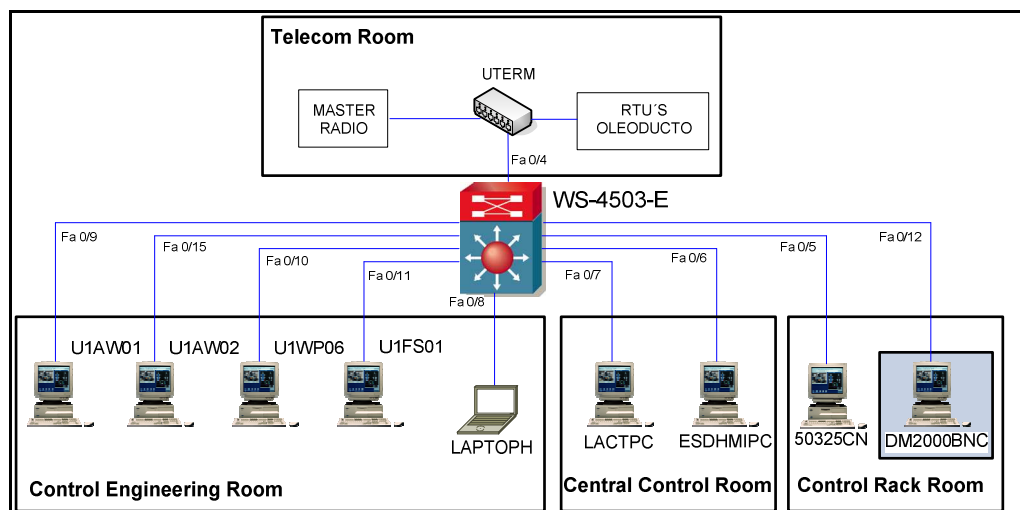


Figura 5.4 Estaciones y servidores del DCS del COPEM

En el caso de las macollas nuevas (4, 6, 7, y 8), las cuales tienen equipos obsoletos y con contratos de servicio vencidos en producción, se propone sustituir los mismos por *switches Cisco* modelo *WS-C2960G-24TC-L*. Estos *switches* tienen 24 puertos de los cuales 20 son puertos 10/100/1000 para conector RJ-45 y 4 puertos para fibra óptica. Esta distribución de puertos va a permitir conectar los PLC a los *switches* y además eliminar los transceptores de UTP a fibra óptica monomodo que están funcionando en cada una de estas macollas. Los puertos restantes quedan disponibles para el caso de instalación de unidades extras de control en las macollas.

De igual manera se propone eliminar los transceptores de fibra óptica monomodo a UTP ubicados en la habitación *Central Control Room*, de manera que la fibra óptica se conecte directamente entre los equipos de red. Para ello se propone sustituir los dos equipos obsoletos que se encuentran en esta sala, encargados de recibir las señales de las macollas, por dos equipos modulares. Con esta sustitución se pretende mantener la redundancia existente en esta red, la cual es fundamental en el funcionamiento de la misma y en las operaciones de la estación SCADA encargada de la adquisición de estos datos.

El equipo modular propuesto, para sustituir cada uno de los *WS-C2912-XL*, es uno de marca *Cisco* modelo *WS-4506-E*. Este equipo tiene características similares al *WS-4503-E* propuesto para la red de datos de ambos DCS de PetroMonagas, sólo que tiene seis *slots* para tarjetas supervisoras y de interfaces. Cada uno de estos equipos será equipado con cuatro tarjetas, dejando libres dos *slots* para el caso que se adicionen estaciones de control o se necesiten conectar nuevas macollas al sistema de control distribuido.

Las cuatro tarjetas, por chasis, son las siguientes: una tarjeta supervisora *Super Engine V (WS-X4516)*, una tarjeta de 24 puertos 10/100/1000 (*WS-X4424-GB-RJ45*) y dos tarjetas con seis puertos de fibra óptica (*WS-X4506-GB-T*).

La tarjeta supervisora *Super Engine V (WS-X4516)* va a permitir el uso de características de enrutamiento o capa 3 en esta red. Actualmente no son necesarios,

pero en caso de la adición de otros dispositivos podrá ser posible crear redes virtuales para aumentar el rendimiento de la red.

La tarjeta de 24 puertos 10/100/1000 (WS-X4424-GB-RJ45) será donde se realicen las conexiones con la estación SCADA y la unidad de control U1NT01. Quedan puertos libres para futuras estaciones y se considera manejar en un futuro 1000 Mbps en las estaciones de control.

Las dos tarjetas de fibra óptica (WS-X4506-GB-T) brindan doce puertos cada una. Inicialmente se necesitan cuatro de esos doce para las macollas, las cuales poseen dos conexiones, una contra cada uno de los equipos modulares para garantizar redundancia en el sistema. Estas cuatro conexiones utilizarían una de las dos tarjetas quedando dos puertos de respaldo. La otra tarjeta será utilizada para la conexión de las macollas viejas con el DCS, la cual se explicará posteriormente.

Se propone entonces, eliminar el enlace de radio que permite la conexión entre las RTU's de las macollas viejas (1, 2, 3 y 5) y sustituir el mismo por una red de datos aprovechando el cableado de fibra óptica mono modo hacia cada una de las macollas. Cada RTU se conectaría a un transceptor *Black Box* sencillo el cual permite transformar de protocolo serial a protocolo *Ethernet*. Este transceptor se conectará a su vez a un *switch* marca *Cisco* modelo WS-C2960G-24TC-L, como el utilizado en las macollas nuevas, y este *switch* se conectaría a través de la fibra óptica monomodo a uno de los dos equipos modulares ubicados en el *Control Rack Room*.

En la figura 5.5 se observa la propuesta para la red de datos de las macollas nuevas y viejas del DCS del COPEM.

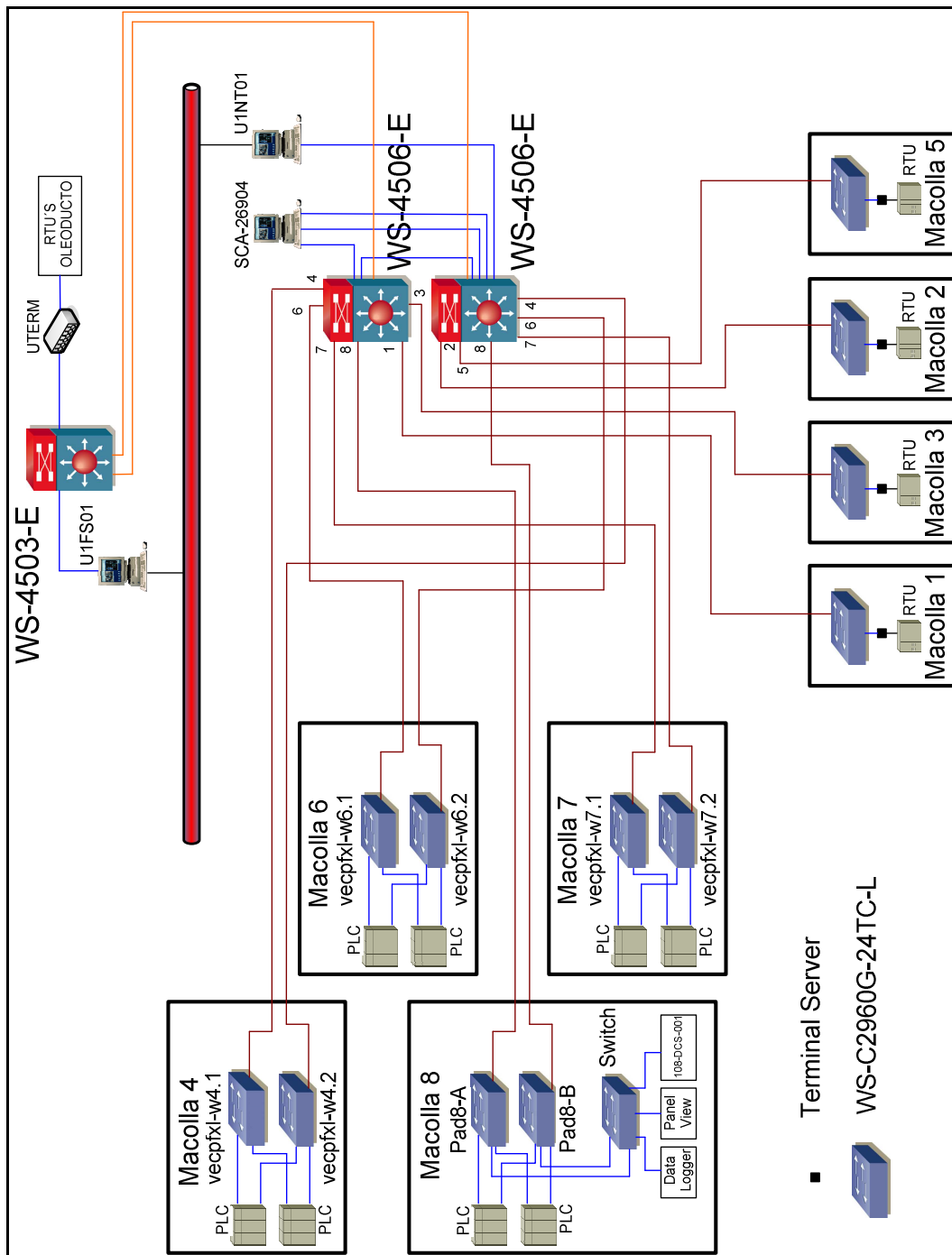


Figura 5.5 Conexión propuesta de las macollas con el DCS del Campo de Operaciones de PetroMonagas

Las macollas viejas no tienen redundancia, debido a que las RTU instaladas no la poseen, sin embargo hay disponibilidad en el cableado estructurado y en el equipo de red utilizado en cada una de ellas para soportar una posible migración de estas RTU's a PLC's como en el caso de las macollas nuevas.

Las macollas viejas se conectarían entonces al DCS de la siguiente manera: Cada par de ellas irían conectadas a uno de los equipos modulares para balancear la carga. A su vez se habilitaría una conexión entre cada equipo modular del *Control Rack Room* y el equipo modular propuesto para la red de datos que conecta el DCS con la red administrativa. Esta conexión puede ser realizada a través de los puertos RJ-45 disponibles en cada chasis.

Es importante mencionar que esta red formada por las macollas viejas debe pertenecer a la misma VLAN que la estación SCADA *U1FS01* encargada de su funcionamiento. Por lo tanto deben crearse, en los equipos modulares del *Control Rack Room*, dos VLAN: Una para las macollas nuevas y otra para las macollas viejas, de forma que los tráficos provenientes de cada una de ellas no interfieran entre sí y cada estación SCADA involucrada pueda adquirir la información correcta. En los *switches* ubicados en las macollas también deben configurarse los puertos correctamente en función a la VLAN que pertenezcan.

### **5.3 Factibilidad de la propuesta**

Desde el punto de vista técnico la propuesta es factible ya que tecnológicamente existe una gama de equipos de telecomunicaciones modernos que pueden utilizarse en esta red. Además se cuenta en la empresa con personal que posee la experiencia técnica requerida para diseñar, implementar, operar y mantener el sistema a proponer. Operativamente, también es factible ya que el sistema propuesto brinda la seguridad tecnológica que necesitan los procesos del Sistema de Control Distribuido.

Con respecto a la factibilidad económica se realizó el siguiente estimado económico, el cual es llamado en PDVSA “tipo cinco”. Éste es un estimado inicial, el cual da una aproximación del costo del proyecto con la finalidad de evaluar justamente si es factible económicamente para la empresa. Se indican los precios estimados de los chasis, tarjetas, fuentes de poder, conectores, *switches* de las macollas, entre otros. Además se realiza un estimado del personal técnico que realizaría el proyecto.

Tabla 5.1 Estimado económico equipo *Cisco 4503 DCS* Mejorador de PetroMonagas

| <b>Equipo Cisco 4503<br/>(Mejorador)</b> |                                                               |                 |                        |              |               |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------|---------------|
| <b>Producto</b>                          | <b>Descripción</b>                                            | <b>Cantidad</b> | <b>Precio Unitario</b> | <b>Total</b> |               |
| WS-C4503-E                               | Cat4500 E-Series 3-Slot Chassis, fan, no ps                   | 1               | \$995,00               | \$995,00     |               |
| PWR-C45-1000AC                           | Catalyst 4500 1000W AC Power Supply<br>(Data Only)            | 1               | \$995,00               | \$995,00     |               |
| PWR-C45-1000AC/2                         | Catalyst 4500 1000W AC Power Supply<br>Redundant(Data Only)   | 1               | \$995,00               | \$995,00     |               |
| CAB-7KAC                                 | AC Power Cord North America                                   | 2               | \$0,00                 | \$0,00       |               |
| WS-X4516                                 | Catalyst 4500 Supervisor V (2<br>GE),Console(RJ-45)           | 1               | \$16.495,00            | \$16.495,00  |               |
| WS-X4548-GB-RJ45                         | Catalyst 4500 Enhanced 48-Port<br>10/100/1000 Base-T (RJ-45)  | 1               | \$5.495,00             | \$5.495,00   |               |
| WS-X4506-GB-T                            | Catalyst 4500 6-Port 10/100/1000 PoE or<br>SFP (Optional)     | 1               | \$3.495,00             | \$3.495,00   |               |
| GLC-SX-MM                                | GE SFP, LC connector SX transceiver                           | 6               | \$500,00               | \$3.000,00   |               |
| S45ES-12237SG                            | Cisco CAT4500 IOS ENTERPRISE<br>SERVICES W/O CRYPTO           | 1               | \$9.995,00             | \$9.995,00   |               |
| MEM-C4K-FLD128M                          | Cat 4500 IOS-based Supervisor, Compact<br>Flash, 128MB Option | 1               | \$700,00               | \$700,00     |               |
|                                          |                                                               |                 | <b>Sub Total</b>       | \$42.165,00  | BsF 90.654,75 |

Tabla 5.2 Estimado económico equipo *Cisco 4503* DCS COPEM

| <b>Equipo Cisco 4503<br/>(COPEM)</b> |                                                               |                 |                        |              |               |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------------|---------------|
| <b>Producto</b>                      | <b>Descripción</b>                                            | <b>Cantidad</b> | <b>Precio Unitario</b> | <b>Total</b> |               |
| WS-C4503-E                           | Cat4500 E-Series 3-Slot Chassis, fan, no ps                   | 1               | \$995,00               | \$995,00     |               |
| PWR-C45-1000AC                       | Catalyst 4500 1000W AC Power Supply<br>(Data Only)            | 1               | \$995,00               | \$995,00     |               |
| PWR-C45-1000AC/2                     | Catalyst 4500 1000W AC Power Supply<br>Redundant(Data Only)   | 1               | \$995,00               | \$995,00     |               |
| CAB-7KAC                             | AC Power Cord North America                                   | 2               | \$0,00                 | \$0,00       |               |
| WS-X4516                             | Catalyst 4500 Supervisor V (2<br>GE),Console(RJ-45)           | 1               | \$16.495,00            | \$16.495,00  |               |
| WS-G5484                             | 1000BASE-SX Short Wavelength GBIC<br>(Multimode only)         | 1               | \$500,00               | \$500,00     |               |
| WS-G5483                             | 1000BASE-T GBIC                                               | 1               | \$395,00               | \$395,00     |               |
| WS-X4424-GB-RJ45                     | Catalyst 4500 24-port 10/100/1000 Module<br>(RJ45)            | 1               | \$3.495,00             | \$3.495,00   |               |
| S45ES-12237SG                        | Cisco CAT4500 IOS ENTERPRISE<br>SERVICES W/O CRYPTO           | 1               | \$9.995,00             | \$9.995,00   |               |
| MEM-C4K-FLD128M                      | Cat 4500 IOS-based Supervisor, Compact<br>Flash, 128MB Option | 1               | \$700,00               | \$700,00     |               |
|                                      |                                                               |                 | <b>Sub Total</b>       | \$34.565,00  | BsF 74.314,75 |

Tabla 5.3 Estimado económico equipos *Cisco 4506* DCS COPEM

| Equipo Cisco 4506 x2 (COPEM) |                                                            |          |                  |              |                |
|------------------------------|------------------------------------------------------------|----------|------------------|--------------|----------------|
| Producto                     | Descripción                                                | Cantidad | Precio Unitario  | Total        |                |
| WS-C4506-E                   | Cat4500 E-Series 6-Slot Chassis, fan, no ps                | 2        | \$4.995,00       | \$9.990,00   |                |
| PWR-C45-1000AC               | Catalyst 4500 1000W AC Power Supply (Data Only)            | 2        | \$995,00         | \$1.990,00   |                |
| PWR-C45-1000AC/2             | Catalyst 4500 1000W AC Power Supply Redundant(Data Only)   | 2        | \$995,00         | \$1.990,00   |                |
| CAB-7KAC                     | AC Power Cord North America                                | 4        | \$0,00           | \$0,00       |                |
| S45ES-12237SG                | Cisco CAT4500 IOS ENTERPRISE SERVICES W/O CRYPTO           | 2        | \$9.995,00       | \$19.990,00  |                |
| MEM-C4K-FLD128M              | Cat 4500 IOS-based Supervisor, Compact Flash, 128MB Option | 2        | \$700,00         | \$1.400,00   |                |
| WS-X4516                     | Catalyst 4500 Supervisor V (2 GE),Console(RJ-45)           | 2        | \$16.495,00      | \$32.990,00  |                |
| WS-G5484                     | 1000BASE-SX Short Wavelength GBIC (Multimode only)         | 2        | \$500,00         | \$1.000,00   |                |
| WS-G5483                     | 1000BASE-T GBIC                                            | 2        | \$395,00         | \$790,00     |                |
| WS-X4424-GB-RJ45             | Catalyst 4500 24-port 10/100/1000 Module (RJ45)            | 2        | \$3.495,00       | \$6.990,00   |                |
| WS-X4506-GB-T                | Catalyst 4500 6-Port 10/100/1000 PoE or SFP (Optional)     | 4        | \$3.495,00       | \$13.980,00  |                |
| GLC-LH-SM                    | GE SFP, LC connector LX/LH transceiver                     | 24       | \$995,00         | \$23.880,00  |                |
|                              |                                                            |          | <b>Sub Total</b> | \$114.990,00 | BsF 247.228,50 |

Tabla 5.4 Estimado económico equipo switches macollas DCS COPEM, honorarios profesionales y estimado total del proyecto

| <b>Equipos Switch Catalyst 2960 (COPEM)</b>     |                                                             |          |                  |                 |                |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------|------------------|-----------------|----------------|
| Producto                                        | Descripción                                                 | Cantidad | Precio Unitario  | Total           |                |
| WS-C2960G-24TC-L                                | Catalyst 2960 24 10/100/1000, 4 T/SFP LAN Base Image        | 14       | \$3.295,00       | \$46.130,00     |                |
| GLC-LH-SM                                       | GE SFP, LC connector LX/LH transceiver                      | 56       | \$995,00         | \$55.720,00     |                |
|                                                 |                                                             |          | <b>Sub Total</b> | \$101.850,00    | BsF 218.977,50 |
|                                                 |                                                             | Cantidad | Precio Unitario  | Total           |                |
| Patch Cord                                      | Fibra Multimodo ST/LC                                       | 21       | \$967,50         | \$20.317,50     |                |
|                                                 |                                                             |          | <b>Sub Total</b> | \$20.317,50     | BsF 43.682,63  |
| <b>Honorarios Profesionales por Consultoría</b> |                                                             |          |                  |                 |                |
| <b>(1 mes de trabajo)</b>                       |                                                             |          |                  |                 |                |
| Profesional                                     | Actividades                                                 | Cantidad | Sueldo Diario    | Total (30 días) |                |
| Ingeniero de Proyecto                           | Coordinador del proyecto en ambos sitios.                   | 1        | \$395,00         | \$11.850,00     |                |
| TSU                                             | Ejecutando el proyecto. Unos en Mejorador y otros en COPEM. | 4        | \$280,00         | \$8.400,00      |                |
|                                                 |                                                             |          | <b>Sub Total</b> | \$20.250,00     | BsF 43.537,50  |
|                                                 |                                                             |          | <b>Total</b>     | \$249.807,50    | BsF 718.395,63 |

Éste estimado total inicial de 250.000 dólares hace muy atractivo el proyecto si se considera que el cierre mensual de PetroMonagas es de alrededor de 150.000.000 de dólares. Se considera entonces factible económicamente invertir en este proyecto que garantizará la continuidad óptima en las operaciones y brindará la seguridad de mantener los niveles actuales de producción de la empresa e inclusive soportar un incremento en los mismos.

## CONCLUSIONES

Una vez analizados los resultados del trabajo de campo realizado en las localidades operativas de PetroMonagas, se obtuvo un diagnóstico concreto de la situación actual de la plataforma de red de datos del DCS de la empresa. Se concluye que la plataforma de red de datos presenta obsolescencia y vencimiento de contratos a nivel de los equipos de red en actual funcionamiento. Estos equipos están avalados por una de las compañías de mayor prestigio en fabricación de equipos de redes (*Cisco*), lo cual mantiene a la actual plataforma de red en funcionamiento. Sin embargo, estos equipos pueden fallar en cualquier momento impactando negativamente el negocio. Por otro lado se notó la inserción de señales de campo en niveles de la arquitectura del DCS que no corresponden al indicado para este tipo de prácticas.

En general, el DCS de ambas localidades operativas, mantiene un óptimo funcionamiento con la actual arquitectura de redes, exceptuando el caso donde señales de campo se insertan incorrectamente al DCS y causan latencia en la red. El estudio realizado permitió identificar las necesidades y requerimientos tecnológicos de la red, los cuales se resumen en la necesidad de sustituir equipos por otros con tecnología más moderna y actualizada que permitan la reducción de puntos de falla; y la creación de nuevas redes de datos para incorporar los dispositivos de instrumentación de las macollas viejas al DCS.

Tomando en cuenta el análisis detallado de la red de datos del DCS de PetroMonagas, se logró realizar una propuesta que apunta a la mejora y adecuación de la misma. Esta propuesta se basó en la sustitución de tecnología antigua por tecnología moderna, considerando los estándares de PDVSA con respecto a redes de datos, y tomando en cuenta la escalabilidad y convergencia del sistema propuesto. La propuesta realizada respeta en todo momento los equipos de control actualmente en funcionamiento y a pesar de que ciertas arquitecturas cambiaron, como por ejemplo el caso de las macollas viejas, los procesos quedan tal cual como se están ejecutando.

El análisis de la propuesta fue muy positivo, sobre todo a nivel económico que por un bajo presupuesto en comparación al cierre mensual de la empresa permitirá garantizar la continuidad óptima de las operaciones y la seguridad de mantener los niveles actuales de producción. A nivel técnico y operativo la factibilidad está garantizada por la capacidad de personal actual de PetroMonagas en operar y mantener la red propuesta, la cual funcionará adecuadamente y brindará todo el soporte necesario en telecomunicaciones a la plataforma de control para optimizar su funcionamiento.

Se concluye finalmente que se logró cumplir con el objetivo principal del proyecto, proponiendo mejoras y adecuaciones a la red de datos de los DCS de esta importante empresa, las cuales permitirán que PetroMonagas continúe sus operaciones con seguridad tecnológica en sus plantas. De esta forma PetroMonagas estará en capacidad de cumplir con su aportación estratégica de capital para el bienestar social de nuestro país, que es su principal misión.

## RECOMENDACIONES

A través de la presente investigación se pudieron conocer ciertos aspectos de la arquitectura del DCS de PetroMonagas que contrastan con la arquitectura que debería tener un sistema de este tipo.

Tanto en el DCS del Mejorador de Crudos como en el DCS del COPEM se introducen señales de campo en el nivel de Ingeniería, lo cual produce latencia en esa red. Se recomienda al personal de automatización analizar estos casos: En el caso del Mejorador de Crudos revisar las señales que ingresan al DCS a través del transceptor *Black Box* ubicado en el *Central Control Room* y que va contra el *vejosxdfs1*; en el caso del COPEM se recomienda revisar si es posible adquirir una estación SCADA de mayor capacidad que pueda soportar la inserción de las señales de todas las macollas y de las RTU's de oleoducto e insertarlas directamente al nodo de control sin necesidad de utilizar una estación extra como *gateway*. Con esto se busca optimizar la red de control apoyandose en la plataforma de red de datos propuesta en este trabajo.

Otro punto importante es la seguridad en esta red. A pesar de que las listas de control de acceso configuradas en el *router* de borde restringen el acceso al DCS, es posible que esta seguridad sea burlada. Se recomienda entonces, apoyarse con el personal de seguridad lógica a fin de habilitar equipos *firewall* en cada uno de los DCS. Estos son equipos especiales basados en *software* libre que permitirían al *router* de borde librarse de la función de seguridad y actuar como enrutador, acelerando los procesos en el mismo.

La redundancia en el nivel de ingeniería también es importante, por lo cual es recomendable tener dos tarjetas de red en cada estación de trabajo del DCS de forma que se pudieran tener dos equipos modulares donde uno funcionaría de respaldo en caso de que el otro falle. Ciertamente los equipos *Cisco* son altamente reconocidos por su confiabilidad, pero pueden fallar, y en el caso de esta red eso sería perjudicial. La inclusión de un nuevo equipo de respaldo en la red brindaría la

confiabilidad necesaria al DCS de ver difícilmente detenido el flujo de información hacia y desde la red administrativa de PetroMonagas.

En la actualidad los sistemas de control distribuido se apoyan mucho en la red de control de redes de datos basadas en protocolos *Ethernet*. En el caso de PetroMonagas se tiene un nodo de control que utiliza protocolos propietarios de *Invensys* para las comunicaciones entre las estaciones de ingeniería y monitoreo con los procesadores de control. Actualmente existen redes de *switches*, que utilizan una topología física mallada, las cuales permiten que todas la estaciones se comuniquen entre sí, con los procesadores de control, e inclusive con algunos dispositivos de instrumentación en campo que tengan la capacidad de ir directamente contra un puerto *Ethernet*. Esto representa una gran ventaja a nivel de confiabilidad y rendimiento, sin embargo al hablar de configuraciones malladas se habla de redundancia y eso significa mucho dinero. Para efectos de este sistema de vital importancia un gasto de este tipo sería bien justificado.

## GLOSARIO

*Data Manager*: Es un *software* de captura y muestra de información de condiciones mecánicas en máquinas pertenecientes a una red de procesos industriales.

*Backbone*: se refiere al cableado troncal o subsistema vertical en una instalación de red de área local que sigue la normativa de cableado estructurado.

*Broadcast*: es un modo de transmisión de información donde un nodo emisor envía información a una multitud de nodos receptores de manera simultánea.

*End-off-life*: Es un término utilizado por los fabricantes de dispositivos electrónicos para indicar que el producto ha cumplido su vida útil.

*Fast Ethernet*: es el nombre de una serie de estándares de IEEE de redes Ethernet de capacidad de transmisión de 100 Mbps.

*Gigabit Ethernet*: es una ampliación del estándar Ethernet que consigue una capacidad de transmisión de 1 *gigabit* por segundo, correspondientes a unos 1000 *megabits* por segundo de rendimiento.

*Hub*: Es un repetidor multipuerto Ethernet que permite conectar entre sí otros equipos y retransmite los paquetes que recibe desde cualquiera de ellos a todos los demás.

*Macolla*: Es una instalación petrolera de producción que asocia varias pozos de petróleo colocados en serie.

*Mesh:* Se refiere a una topología de red mallada dónde hay múltiples enlaces conectando múltiples dispositivos de red.

*Networking:* Termino qué se refiere a la conexión mediante redes de telecomunicaciones en general.

*Ping:* Es una utilidad que comprueba el estado de la conexión con uno o varios equipos remotos por medio de paquetes de solicitud de eco y de respuesta de eco para determinar si un sistema IP específico es accesible en una red. Es útil para diagnosticar los errores en redes o enrutadores IP.

*RBMWare:* Es un paquete de *software* que organiza actividades de monitoreo de diversas condiciones basado en el análisis de datos obtenidos de dispositivos operativos en una red de procesos industriales.

*Router:* Dispositivo de capa de red que usa una o más métricas para determinar la ruta óptima a través de la cual se debe enviar el tráfico de red. Los *routers* envían paquetes desde una red a otra basándose en la información de la capa de red.

*Show access list:* Es un comando que permite visualizar el contenido actual de una lista de control de acceso en un dispositivo de red.

*Show cdp neighbors:* Es un comando que permite observar información sobre dispositivos de red vecinos conectados directamente. Esta información incluye el nombre del dispositivo, el tipo y número de la interfaz conectada, tiempos de retardo, capacidades, nombre de la plataforma e información del puerto vecino.

*Switch*: Es un dispositivo de red que filtra, reenvía o inunda tramas basándose en la dirección destino de cada trama. El *switch* opera en la capa de enlace de datos del modelo OSI.

*Switch core*: Es un *switch* de altas capacidades ubicado en la capa de distribución que funciona como punto de totalización de múltiples *switches* de la capa de acceso. El *switch* debe poder adecuarse al monto total del tráfico desde los dispositivos de la capa de acceso. La capa de distribución combina el tráfico VLAN y es un punto focal para las decisiones de política sobre flujo de tráfico. Por estas razones, los *switches* que residen en la capa de distribución operan tanto en la Capa 2 como en la Capa 3 del modelo OSI.

TACACS: es un protocolo de autenticación remota que se usa para comunicarse con un servidor de autenticación para determinar si el usuario tiene acceso a la red.

*Token*: Es una serie especial de bits que viajan por las redes *token-ring*. Cuando los *token* circulan, las computadoras de la red pueden capturarlos permitiendo a estas enviar un mensaje por la red. Existe sólo un *token* por cada red, por lo tanto dos computadoras no pueden transferir mensajes al mismo tiempo.

*Traceroute*: Es una herramienta de diagnóstico de redes que permite seguir la ruta de los paquetes que van desde un host a otro.

*Trendmaster*: Es un sistema de monitoreo de maquinaria esencial en una red de procesos industriales.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] Vazquez, Milton. Desarrollo “Cerro Negro”. Una historia de éxito... desde su concepción hasta su ejecución, XII Congreso Latinoamericano de Perforación, Operadora Cerro Negro S.A., 2000, p.3.

[2] Decreto No. 5200 Migración a empresas mixtas de los Convenios de Asociación de la Faja Petrolífera del Orinoco; y los Convenios de Exploración a Riesgo y Ganancias Compartidas, Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 38617, 1 de febrero de 2007, artículo 1.

[3] Cisco Systems. CCNA 1: Conceptos básicos sobre networking v3.1.1, Modulo 2: Aspectos básicos de networking, 2.1.4 Topología de red.

[4] Cisco Systems. CCNA 1: Conceptos básicos sobre networking v3.1.1, Modulo 2: Aspectos básicos de networking, 2.1.5 Protocolos de red.

[5]Ferrari, Pablo. Monografía sobre Sistemas de Control Distribuido. Universidad Nacional de Rosario, 2005, p.9.

[6] Disponible en: <http://www.depeca.uah.es/wwwnueva/docencia/IT-INF/ctr-eco/Tema4.pdf>, p.15.

[7] Disponible en: <http://www.foxboro.com/us/eng/products/automationsystems/iaseries/systemarchitecture/default.htm>

[8] Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales, Fedupel, 2003, p.16.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Asociación Venezolana de Hidrocarburos. ExxonMobil de Venezuela S.A.  
Disponible en: <http://www.avhi.org/exxon>

Calderón, Belinda. Estatización Petrolera. Disponible en:  
<http://www.dinero.com.ve/219/portada/energía.html>

Cisco Networking Academy. CCNA 1: Networking Basics, V 3.1, 2005

Cisco Systems. ICND1: Interconnecting Cisco Networking Devices Part 1, Volume 1, Version 1.0. 2007

Decreto No. 5200 Migración a empresas mixtas de los Convenios de Asociación de la Faja Petrolífera del Orinoco; y los Convenios de Exploración a Riesgo y Ganancias Compartidas, Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 38617, 1 de febrero de 2007.

Del Castillo, Juan. Tendencias en Arquitecturas de Control, Sistemas Abiertos OPC. Dow Chemical Ibérica S.A., Agosto 1998.

Product Bulletin No. 1958. "End of-sale Announcement for the Cisco 2600 "Non XM" Multiservice Access Router (Does not refer to the Cisco 2600 XM Models", abril 2005. Disponible en: [www.cisco.com](http://www.cisco.com)

Product Bulletin No. 2771. "End of-sale and End-of-Life Announcement for the Cisco Catalyst 3550 Series Switches", mayo 2005. Disponible en: [www.cisco.com](http://www.cisco.com)

Product Bulletin No. EOL 1094. “End of-sale and End-of-Life Announcement for select Cisco Catalyst 2950G and Catalyst 2950T Series Switches”, abril 2006. Disponible en: [www.cisco.com](http://www.cisco.com)

Product Bulletin No. EOL 1147. “Catalyst 2900 series XL and Catalyst 3500 series XL Standard Edition Switches End of Life”, abril 2005. Disponible en: [www.cisco.com](http://www.cisco.com)

Product Bulletin No. EOL 5850. “End of-sale and End-of-Life Announcement of five Additional Cisco Catalyst 2950 Series Switches”, octubre 2007. Disponible en: [www.cisco.com](http://www.cisco.com)

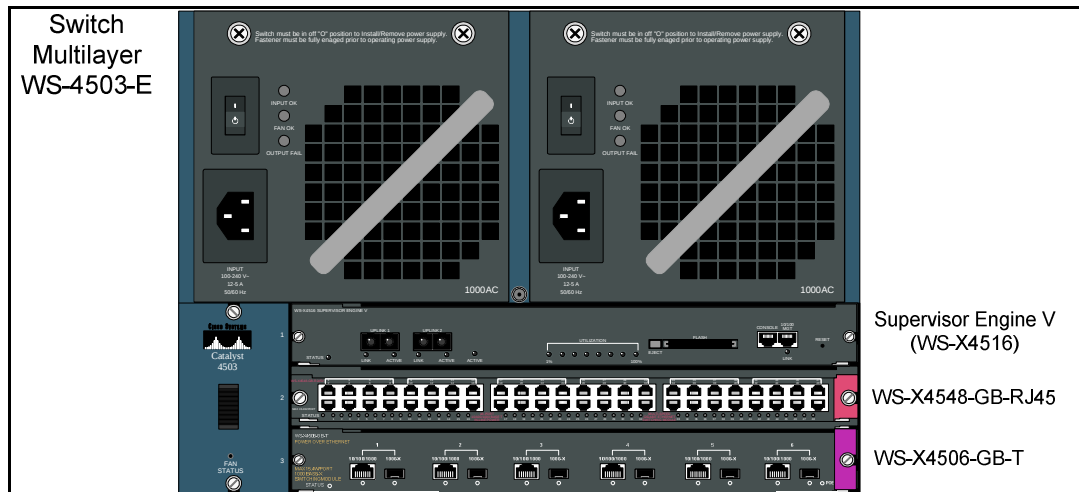
Vazquez, Milton. Desarrollo “Cerro Negro”. Una historia de éxito... desde su concepción hasta su ejecución, XII Congreso Latinoamericano de Perforación, Operadora Cerro Negro S.A., 2000

[www.3com.com](http://www.3com.com)

[www.foxboro.com](http://www.foxboro.com)

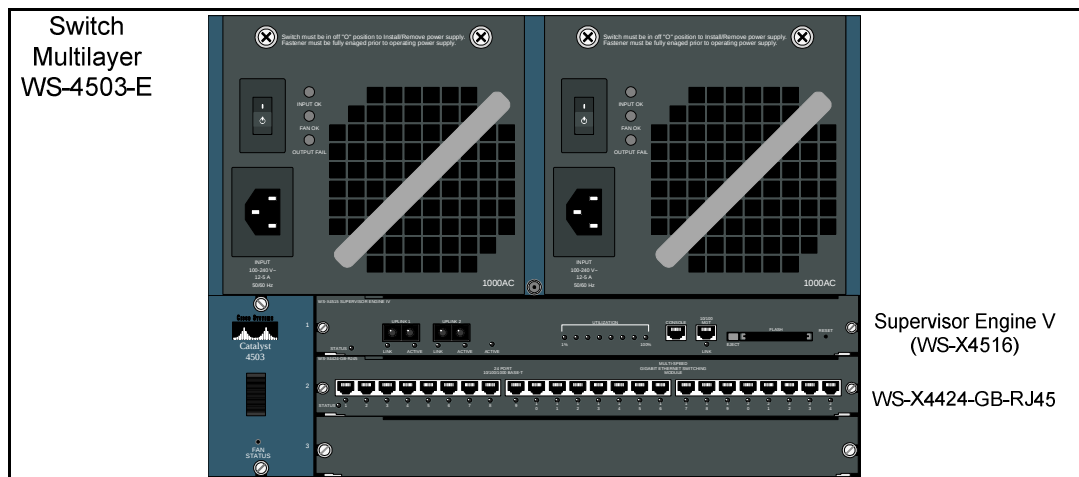
## **ANEXOS**

## [ANEXO No 1]



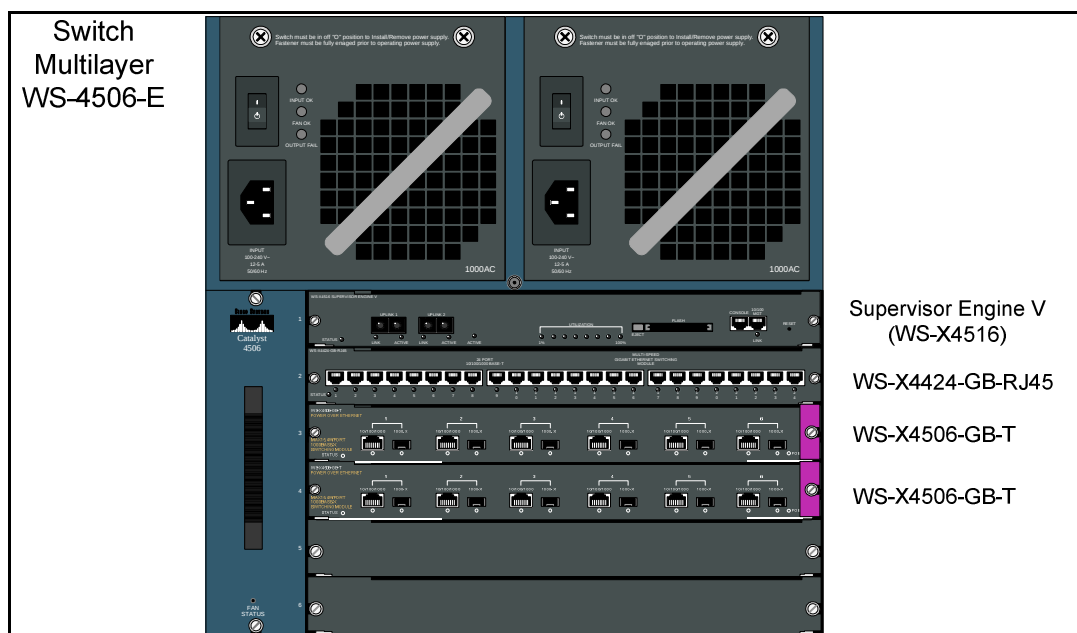
Equipo propuesto para la red de datos del DCS del Mejorador

## [ANEXO No 2]



Equipo propuesto para la red de datos del DCS del COPEM

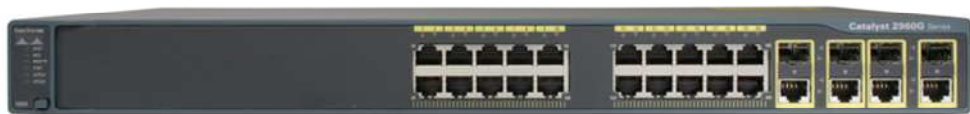
## [ANEXO No 3]



Equipo propuesto para la red de datos del DCS del COPEM

## [ANEXO No 4]

Switch WS-C2960G-24TC-L



Equipo propuesto para la red de datos del DCS del COPEM

[ANEXO No 5]

Terminal  
Server



Equipo propuesto para la red de datos del DCS del COPEM