

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

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Automática y Sistemas Computacionales**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

### **Sistema SCADA Para la Gestión y Control del Área de Tanques de la Refinería Camilo Cienfuegos**

**Autor: Joaquin Peña D'Escoubet**

**Tutor: Eduardo Izaguirre Castellanos**

**Santa Clara**

**2009 - 2010**

**"Año 52 de la Revolución"**

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

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Automática y Sistemas Computacionales**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Sistema SCADA Para la Gestión y Control del**

**Área de Tanques de la Refinería Camilo**

**Cienfuegos**

**Autor: Joaquin Peña D'Escoubet**

E-mail: [jpena@uclv.edu.cu](mailto:jpena@uclv.edu.cu)

**Tutor: MSc. Eduardo Izaguirre Castellanos**

E-mail: [izaguirre@uclv.edu.cu](mailto:izaguirre@uclv.edu.cu)

**Ing. Yeiniel Suárez Sosa**

E-mail: [yssosa@pdvcupetsa.cu](mailto:yssosa@pdvcupetsa.cu)

**Consultante: Ing. Annia Quintana Menéndez**

**Santa Clara**

**2009 - 2010**

**"Año 52 de la Revolución"**



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

---

Firma del Autor

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

---

Firma del Autor

---

Firma del Jefe de Departamento  
donde se defiende el trabajo

---

Firma del Responsable de  
Información Científico-Técnica

## PENSAMIENTO

*Todo triunfo cuesta sangre de venas o de alma,  
La juventud que me nutre está empeñada en el triunfo,  
Aunque me cueste sangre de las venas,  
o se me parta el alma.*

*José Martí*

## DEDICATORIA

*A mi padre por estar siempre a mi lado y ayudarme avanzar en la vida.*

*A mi madre por brindarme todo su apoyo.*

*A mi abuela por a ver hecho de mi la persona que soy hoy.*

*A Yisel por ser mi compañera incondicional.*

*A mi tío Tomas por su apoyo económico.*

*A mis hermanos que este Trabajo de investigación sea un ejemplo para cuando quieran alcanzar una meta en la vida, que comprendan, que todo se logra cuando se tiene interés, dedicación, valor y se persiste en el empeño.*

*A todos mis compañeros de estudios.*

*A todos los que de una u otra forma, cooperaron en la investigación, en el proceso de realización y la presentación de este trabajo de diploma.*

*A Danilo, amigo que recordare toda la vida.*

## AGRADECIMIENTOS

*A mi familia, por su apoyo y tolerancia.*

*A mis compañeros de estudio, por su apoyo incondicional y en especial Gustavo y Roberto.*

*A Yeiniel, por haberme brindado su ayuda en los momentos iniciales, que me sirvieron para ubicarme y emprender el camino correcto en la elaboración de los datos que arrojó la investigación.*

*A Izaguirre, por sus orientaciones precisas para la feliz culminación de este trabajo de diploma.*

*A el grupo de técnicos e ingenieros de la refinería por la ayuda prestada, en especial a Heinz, Annia y Boris.*

**A TODOS GRACIAS.**

## **TAREA TÉCNICA**

1. Revisión bibliográfica.
2. Estudio del proceso tecnológico objeto del Sistema SCADA.
3. Establecer los criterios, normas, prestaciones, requerimientos técnicos de PDVCupet para el SCADA de Movimiento de Crudo y Productos (M.C.P) de la dirección de Movimiento y Almacenamiento de Productos (M.A.P).
4. Estudio, análisis y aplicación de la metodología de matriz de comparación técnica.
5. Escritura de la tesis.

---

Firma del Autor

---

Firma del Tutor

## **RESUMEN**

El presente trabajo se propone estudiar y establecer una metodología para la selección de un sistema SCADA como elemento a considerar para la selección del mismo entre las diferentes propuestas para el área M.C.P de la refinería Camilo Cienfuegos. Para ello se realizó un estudio general tanto de los sistemas SCADA, como de familiarización con el proceso de producción e identificación de las variables principales. Una vez conocido el objeto tecnológico se pasa a establecer los criterios, normas, requerimientos técnicos y funcionales para el suministro del sistema SCADA, se analizan los diferentes métodos que pueden existir para la selección del mismo, haciendo énfasis en la metodología de la matriz ponderada, mecanismo aplicado para la evaluación de ofertas y recomendado para su empleo en esta empresa. Los parámetros de la misma, se basan en un estudio de expertos por medio de encuestas y la consulta de metodologías existentes.

## TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
TAREA TÉCNICA.....	iv
RESUMEN.....	v
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS DE SCADA.....	4
1.1 Consideraciones Generales.....	4
1.1.1 Necesidad del trabajo.....	4
1.2 Generalidades de los sistemas SCADA.....	4
1.2.1 Historia de los sistemas SCADA.....	5
1.2.2 Sistema SCADA.....	6
1.2.3 Necesidad de un sistema SCADA.....	7
1.2.4 Funciones de un SCADA.....	8
1.2.5 Prestaciones principales del sistema SCADA.....	8
1.2.6 Requisitos.....	9
1.3 Componentes de un sistema SCADA .....	9
1.3.1 Hardware.....	10

1.3.2	Software .....	14
1.3.3	Protocolos de Comunicación .....	15
1.4	Ventajas y desventajas de los sistemas SCADA. ....	16
1.4.1	Ejemplos de SCADA y campos de aplicación.....	16
1.5	OPC.....	17
1.5.1	Ventajas y desventajas de OPC. ....	19
1.6	Selección de Proveedores. ....	20
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DEL OBJETO TECNOLÓGICO.....		24
2.1	Estaciones de Bombeo .....	24
2.1.1	Características y Aplicaciones de las Bombas Existentes .....	25
2.1.2	Señales de Entrada y Salida asociadas a las Bombas .....	27
2.1.3	Alarmas desde las Estaciones de Bombeo .....	28
2.2	Patio de Tanques .....	30
2.2.1	Señales de Entrada y Salida Asociadas a cada Tanque .....	30
2.2.2	Alarmas desde los Tanques.....	30
2.3	Elementos Finales de Control .....	31
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		34
3.1	Especificaciones del SCADA .....	34
3.1.1	Estructura del Documento .....	35
3.1.2	Requerimientos Generales del SCADA.....	36
3.1.3	Arquitectura del SCADA de MCP.....	40
3.2	Matriz de Selección. ....	41
3.2.1	Criterios de Selección .....	41
3.3	Análisis económico.....	44

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	47
Conclusiones .....	47
Recomendaciones .....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48
Anexo I Diagrama de algunas de las líneas de M.C.P. ....	50
Anexo II Sistema de Medición en Tanques .....	54

## INTRODUCCIÓN

La Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos” comenzó la etapa de proyección microlocalización y movimiento de tierra en el período comprendido entre 1977 – 1983. Su período de construcción y montaje se realizó entre 1983 - 1990 con tecnología soviética. Ésta operó de manera intermitente entre 1990 -1995 en este tiempo que procesó un millón 200 mil toneladas de crudo. Sin embargo, la crisis económica derivada de la desaparición de la URSS y el derrumbe del campo socialista provocó que su infraestructura sufriera un deterioro sensible, resuelto este y después de un intenso proceso inversionista que contó con la colaboración del Gobierno Bolivariano de Venezuela. El funcionamiento del área de tanques de almacenamiento M.C.P está dirigido a recibir mercancías procedentes de importaciones o cabotajes y vendiendo los diferentes tipos de productos, se encarga de abastecer gran parte de las necesidades del país, en ocasiones llega a cubrir la distribución completa de éste. El área de Tanques M.C.P está conformado por: un parque de tanques de almacenamiento de Petróleo crudo, un parque de almacenamiento de Productos Intermedios y uno de almacenamiento de Productos Terminados. Cada una de estas áreas tiene asociada estaciones de bombeo encargadas de permitir el movimiento del producto tanto interno como la entrega al mercado.

Los tanques de almacenamiento del petróleo y sus derivados, así como las casas de bombas asociadas, inicialmente se encontraban altamente automatizados usando mayormente tecnología neumática. Durante el período de conservación de la refinería estos sistemas se deterioraron tanto que el momento de la reactivación fue imposible utilizar la mayoría de los sistemas automáticos mencionados. De esta forma actualmente la operación del área se ejecuta manualmente existiendo riesgos como: derrames de combustibles por sobrellenado

de tanques, daños a bombas por sobrepresión en la descarga, paradas de planta por inestabilidad en el suministro de crudo, etc.

Para minimizar los riesgos antes descritos y mejorar la gestión de combustible y sus derivados se ha instalado un sistema de inventario de combustible denominado Tank-Vision producido por la firma Endress + Hauser como parte de la estrategia de mejora de la automatización de la refinería puesta en marcha en el 2007. Este sistema a partir de la medición de parámetros básicos como: nivel, presión, temperatura y nivel de agua en el fondo, esto permite conocer con exactitud el estado presente y pasado de los tanques monitoreados.

Luego de instalado el sistema Tank-Vision quedó pendiente la seguridad y la estabilidad de las operaciones, lo cual recaía fundamentalmente en los sistemas de control de las casas de bombas. Como parte de la estrategia para mejorar las condiciones de operación se ha dado luz verde al proyecto de rehabilitación de la automática del área de M.C.P. Por las condiciones del mismo (gran tamaño, pocos lazos de control, alto nivel de interacción hombre-planta), se consideró la utilización de un sistema de Adquisición de Datos, Supervisión y Control (SCADA por sus siglas en inglés) para la gestión global de la misma, considerándose que se va a licitar y llevar a cabo dicha tarea por parte del Departamento AIT (Automática, Informática y Telecomunicaciones).

Una variante sería la instalación de los sistemas de control requeridos en cada casa de bombas por AIT y la licitación del software para la supervisión y otra sería la licitación de ambas como un todo, decisión que estaría en dependencia de la disponibilidad financiera de la entidad. Al parecer la primera variante será la seleccionada dado el estado de cuentas de la empresa.

**Situación del problema:**

¿Cómo garantizar la supervisión y el control de las estaciones de bombeo y líneas de suministro de petróleo del patio de tanques de la Refinería Camilo Cienfuegos?

**Objeto:**

Supervisión y Control de un proceso tecnológico de bombeo y suministro de petróleo. .

**Campo:**

Supervisión y Control del Área de M.A.P

**Objetivo General:**

Definir las especificaciones y metodologías para la adecuada selección de un sistema SCADA para el área de Movimiento de Crudos y Productos de la Refinería Camilo Cienfuegos.

- Estudio del proceso tecnológico.
- Establecer los criterios, normas, requerimientos técnicos y funcionales para el suministro del sistema SCADA para el área de M.C.P.
- Realizar matriz de comparación técnica para la selección del sistema SCADA más adecuado de acuerdo a los requerimientos establecidos por PDVCupet SA.

**Organización del informe por capítulos:**

CAPÍTULO I: Marco teórico y definición de la estrategia a desarrollar.

CAPÍTULO II: Estudio y Análisis del proceso tecnológico.

CAPÍTULO III: Definición de los criterios, normas, requerimientos técnicos y funcionales para el sistema SCADA que debe utilizarse en la aplicación en cuestión. Desarrollo de la matriz de comparación técnica y selección.

## **CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS DE SCADA**

En este capítulo se pueden encontrar aspectos generales acerca de los sistemas de control, supervisión y de adquisición de datos. Entre estos se encuentran, una breve historia de los SCADA, definición básica, componentes de hardware y módulos software que lo conforman, campos de aplicación, ventajas, desventajas, características y requisitos para su implementación, así como aspectos relacionados con la metodología empleada para la selección del mismo.

### **1.1 Consideraciones Generales.**

Este trabajo está encaminado a establecer los criterios, normas, requerimientos técnicos y funcionales para la selección de un sistema SCADA en el área de M.C.P, a partir de un detallado estudio del proceso tecnológico y el desarrollo de una metodología de selección como herramienta para elegir el proveedor adecuado en su momento.

#### **1.1.1 Necesidad del trabajo.**

Por las características del área de M.C.P, entre ellas su gran tamaño, relativamente pocos lazos de control y alto nivel de interacción hombre-planta, se plantea la necesidad de elevar los niveles de seguridad, estabilidad y humanización de las operaciones relacionadas con el bombeo, mezcla y suministro de productos intermedios, terminados y crudos del área de M.C.P de la Refinería Camilo Cienfuegos como parte de la estrategia de mejorar las condiciones de operación y rehabilitación de la automática de dicha área.

### **1.2 Generalidades de los sistemas SCADA.**

La supervisión es el hecho de monitorear a distancia los procesos industriales, de forma remota y computarizada. Un usuario o una máquina controlan los diferentes procesos que

se originan o desarrollan en una fábrica. La principal función de la supervisión y el control es la centralización del proceso fuera del área de producción o fuera de la máquina a controlar. En la supervisión actúan tanto las personas como las máquinas. De esta separación del control hombre - máquina se pueden ver las dos diferencias claras de la supervisión, la supervisión activa o control manual donde el hombre a través de una pantalla controla los procesos que se están realizando en mayor o menor grado. También está la supervisión pasiva o automática, es decir el computador o PC a través de su aplicación controla las variables del sistema y solo avisa al operario cuando encuentra un error o anomalía. (Chacón et al., 2001)

### **1.2.1 Historia de los sistemas SCADA.**

Los primeros SCADA eran simples sistemas que proporcionaban reportes periódicos de las variables de campo, vigilando las señales que representaban medidas y/o condiciones del estado de la planta desde ubicaciones generalmente remotas, en muchos casos lo que se hacía era imprimir o registrar en papel la información de las variables de la planta, llevando un histórico de los eventos que ocurrían durante la operación del proceso. Estos sistemas ofrecían capacidades muy simples de monitoreo y control, sin proveer funciones de aplicación alguna. La visión del operador en el proceso estaba basada en instrumentos y señalizaciones lumínicas montadas en paneles llenos de indicadores.

Con el desarrollo de la tecnología, los ordenadores empezaron a aplicarse en el control industrial, permitiendo realizar tareas de recolección y almacenamiento de datos, generación de comandos de control, y una nueva función muy importante: la presentación de la información sobre una pantalla, que en aquel entonces eran monocromáticas.

Muchas empresas conociendo la necesidad y lo rápido que avanzaba el desarrollo de los ordenadores, fueron realizando programas de aplicación específicos para atender requisitos de algún proyecto particular. Así aparecieron los pequeños SCADAS nacidos de empresas desarrolladoras de software, constituyendo una nueva experiencia para muchas de ellas.

Hoy, los proveedores de sistemas SCADA permiten que su diseño pueda aplicarse a las más variadas necesidades y requisitos de muchas industrias, con módulos de software disponibles para cualquier variante de supervisión y control.

Normalmente también se pueden encontrar en el mercado firmas como la ABB, Fisher-Rosemount y Grupo Shneider entre otras, que son proveedoras de sistemas de este tipo y que con el transcurso de los años se han especializado en alguna que otra rama del control, como por ejemplo Plantas Generadoras, Refinerías, Industria Textil, etc.

La mayoría de los sistemas SCADA modernos instalados hoy en día, constituyen parte integral de la estructura de dirección y gerencia de cualquier planta. Estos sistemas ya no son vistos por la gerencia simplemente como herramientas operacionales para la supervisión y el control automático, sino como un recurso importante de información corporativa, sin el cual sería imposible administrar la empresa. Jugando este importante papel, los sistemas SCADA continúan sirviendo como centro de responsabilidad operacional, proporcionando también datos importantes a los sistemas y usuarios que fuera del ambiente de control, dependen de dicha oportuna información para tomar sus decisiones económicas cotidianas.(Castellanos, 2008)

### **1.2.2 Sistema SCADA.**

Son las Siglas para Supervisory Control and Data Acquisition (Control Supervisorio y Adquisición de Datos), es decir, un sistema capaz de comunicarse con dispositivos de campo para recopilar información del proceso y de esa manera, poder supervisar su funcionamiento y, de ser necesario, realizar una determinada acción de control sobre alguna parte del mismo. En un sistema supervisor siempre se requerirá la intervención del ser humano en algunos instantes, que será el que tome acciones definitivas en casos críticos.

Una SCADA no es una tecnología específica, más bien es una aplicación que puede comprender el uso de varios tipos de tecnologías. Por ello el sistema debe ser bastante flexible (de arquitectura abierta), para que pueda adaptarse fácilmente a las cambiantes necesidades de una industria.

El Sistema SCADA posee una estructura de tipo centralizada, ya que la información obtenida de cada dispositivo de campo se concentra y administra desde una Unidad Terminal Maestra o MTU, generalmente una PC, que contiene uno o varias interfaces Máquina-Humano (Human Machine Interface -HMI-) de cada parte del proceso. La información que recoge la MTU las recibe generalmente de una o varias Unidades

Terminales Remotas o RTU o de algún PLC, que son los medios técnicos que interactúan directamente con los dispositivos de campo. (Fernando et al., 2009)

Los datos manejados pueden ser de tres tipos principales:

- Datos analógicos (por ejemplo números reales) que quizás sean presentados en gráficos.
- Datos digitales (on/of) que pueden tener alarmas asociadas a un estado o al otro.
- Datos de pulsos (por ejemplo conteo de revoluciones de un medidor) que serán normalmente contabilizados o acumulados. (Montero et al, 2004)

### **1.2.3 Necesidad de un sistema SCADA.**

Para evaluar si un sistema SCADA es necesario para mejorar una instalación dada, el proceso a controlar debe cumplir las siguientes características:

- El número de variables del proceso que se necesita monitorear es muy alto.
- El proceso está geográficamente distribuido. Esta condición no es limitativa, puede instalarse un SCADA para la supervisión y control de un proceso local.
- La información del proceso se necesita en el momento en que los cambios se producen en el mismo, o en otras palabras, la información se quiere en tiempo real.
- La necesidad de optimizar y facilitar las operaciones de la planta, así como la toma de decisiones, tanto gerenciales como operativas.
- Los beneficios obtenidos en el proceso justifican la inversión en un sistema SCADA. Estos beneficios pueden reflejarse como aumento de la efectividad en la producción, de los niveles de seguridad, etc.

La complejidad y velocidad del proceso permiten que la mayoría de las acciones de control sean iniciadas por un operador. En caso contrario, se requerirá de un Sistema de Control Automático, el cual lo puede constituir un Sistema de Control Distribuido, PLC's, Controladores a Lazo Cerrado o una combinación de ellos. (Castellanos, 2008)

### 1.2.4 Funciones de un SCADA.

Dentro de las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA están las siguientes:

- Adquirir, almacenar y mostrar información, en forma continua y confiable, acerca del estado de los dispositivos de campo, demás mediciones y alarmas.
- Ejecutar acciones de control iniciadas por el operador.
- Alertar al operador de los cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Los cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.
- Aplicaciones en general, obtenidas por el sistema, tales como: reportes, gráficos de tendencias, historia de variables, cálculos, predicciones, detención de anomalías, etc. (Castellanos, 2008)

### 1.2.5 Prestaciones principales del sistema SCADA.

- Supervisión remota de instalaciones y equipos: Permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta, permitiendo dirigir las tareas de mantenimiento y estadísticas de fallas.
- Control remoto de instalaciones y equipos: Mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo abrir válvulas, activar interruptores, prender motores, etc.), de manera automática y también manual. Además es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control, etc.
- Procesamiento de datos: El conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema, esta información es procesada, analizada, comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.
- Visualización grafica y dinámica: El Sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representan el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente en una planta real. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo.

- 
- Generación de reportes: El sistema permite generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.
  - Representación de señales de alarmas: A través de señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o una presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras.
  - Almacenamiento de información histórica: Se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos, esta información puede analizarse posteriormente, el tiempo de almacenamiento dependerá del operador o del autor del programa.
  - Programación de eventos: Está referido a la posibilidad de programar subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas, etc.(Díaz, 2009)

### **1.2.6 Requisitos.**

Estos son algunos de los requisitos que debe cumplir un sistema SCADA para sacarle el máximo de su provecho:

- Deben ser sistemas de arquitectura abiertas, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente para el usuario con el equipo de planta (“drivers”) y con el resto de la empresa (acceso a redes locales y de gestión).
- Los programas deberán ser sencillos de instalar, sin excesivas exigencias, y fáciles de utilizar, con interfaces amables con el usuario (sonido, imágenes, pantallas táctiles, etc.). (Cabús et al., 2004)

### **1.3 Componentes de un sistema SCADA**

Los componentes de un sistema SCADA se pueden ubicar en dos grupos fundamentales: Hardware y Software.

### 1.3.1 Hardware

Un SCADA está formado por:

1. Ordenador Central o MTU.
2. Ordenadores Remotos o RTU
3. Red de Comunicación.
4. Instrumentación de Campo.

#### Unidades Maestras (Master Terminal Units)

La parte más visible de un sistema SCADA es la estación central o MTU. Éste es el “centro neurológico” del sistema, y es el componente del cual el personal de operaciones se valdrá para observar la mayoría de la planta. Una MTU a veces se llama HMI.

Las funciones principales de la MTU son:

- Interroga en forma periódica a las RTU, y les transmite consignas; siguiendo usualmente un esquema maestro-esclavo.
- Actúa como interface al operador, incluyendo la presentación de información de variables en tiempo real, la administración de alarmas, y la recolección y presentación de información del histórico.
- Puede ejecutar software especializado que cumple funciones específicas asociadas al proceso supervisado por el SCADA. Por ejemplo, software para detección de pérdidas en un oleoducto.(Cabús et al., 2004)

Todas las MTU de SCADA deben presentar una serie de características, algunas de éstas son las siguientes:

- **Adquisición de datos:** Recolección de datos de las unidades terminales remotas (RTU)
- **Gráficos de tendencia:** Salvar los datos en una base de datos, y ponerlos a disposición de los operadores en forma de gráficos.

- **Procesamiento de Alarmas:** Analizar los datos recogidos de las RTU para ver si han ocurrido condiciones anormales, y alertar al personal de operaciones sobre las mismas.
- **Control:** Lazo Cerrado, e iniciados por operador.
- **Visualizaciones:** Gráficos de equipamiento actualizado para reflejar datos del campo.
- **Informes:** La mayoría de los sistemas SCADA tienen un ordenador dedicado a la producción de reportes en red (LAN o similar) con el principal.
- **Mantenimiento del Sistema Mirror:** Se debe mantener un sistema idéntico con la capacidad segura de asumir el control inmediatamente si la principal falla.
- **Interfaces con otros sistemas:** Transferencia de datos hacia y desde otros sistemas corporativos, por ejemplo: el procesamiento de órdenes de trabajo, de compra, la actualización de bases de datos, etc.
- **Seguridad:** Control de acceso a los distintos componentes del sistema.
- **Administración de la red:** Monitoreo de la red de comunicaciones.
- **Administración de la Base de datos:** Agregar nuevas estaciones, puntos, gráficos, puntos de cambio de alarmas, y en general, reconfigurar el sistema.
- **Aplicaciones especiales:** Casi todos los sistemas SCADA tendrán cierto software de aplicación especial, asociado generalmente al monitoreo y al control de la planta específica en la cual se está utilizando. Recordemos que las necesidades de las diferentes industrias pueden ser muy variadas.
- **Sistemas expertos, sistemas de modelado:** Los más avanzados pueden incluir sistemas expertos incorporados, o capacidad de modelado de datos. (Montero et al., 2004)

### **Unidades Terminales Remotas (RTU)**

Las unidades terminales remotas, en su estructura principal son muy parecidas a un PLC. Consisten en una pequeña y robusta computadora que almacena datos y los trasmite a la terminal maestra para que ésta controle los instrumentos. Es una unidad independiente (stand-alone) de adquisición y control de datos. Su función es controlar el equipamiento de proceso en el sitio remoto, adquirir datos del mismo, y transferirlos al sistema central

SCADA. La gama de Unidades Terminales Remotas ofrece una solución universal para el control de instalaciones técnicas de todo tipo.

La mayoría de terminales incluyen un software que integra potentes recursos de comunicación y supervisión, sin necesidad de programación específica, se tiene que tomar en cuenta que este software es específico de cada compañía y no son compatibles entre sí. Para minimizar el problema de compatibilidad las compañías están realizando sus programas bajo estándares para poder vender sus productos con mayor facilidad.

La mayor parte de las RTU tienen como características principales:

- Comunicaciones a través de la red telefónica fija y móvil, radio enlaces, líneas dedicadas, bus de campo.
- Adquisición y mando (señales digitales, analógicas y conteos).
- Capacidad: entre 280 - 700 variables (según las aplicaciones).
- Almacenamiento de datos a largo plazo (alarmas, medidas, conteos, informes).
- Alerta hacia estaciones maestras, buscapersonas y teléfonos móviles.
- Módulos especializados (automatización y gestión de las estaciones de elevación).
- Enlaces entre instalaciones (entre remota y remota, entre remotas y módulos).
- Compatibilidad con otros productos (autómatas programables, analizadores, controladores, medidores, ordenadores de supervisión.) ( Montero et al., 2004)

### **Autómatas Programables (PLC).**

Controlador Lógico Programable que, como su nombre lo indica, se encarga de realizar tareas de control y adquisición de datos en aplicaciones industriales, gozan de alta flexibilidad en cuanto a su campo de aplicación, son dispositivos programables, fáciles de comunicar, y cualquier cambio en la estructura del proceso que requiera ser controlado, se configura fácilmente vía software sin tener que modificar mayormente la configuración de hardware ya establecida.

El PLC es un sistema que posee un conjunto de entradas y salidas tanto digitales como analógicas, constituye un aparato muy robusto para ser utilizado con alta fiabilidad en el

ambiente hostil industrial. De ahí su popularidad, pues se ha constituido como la primera opción para el control de procesos industriales.

### **La Red de Comunicación.**

Los sistemas SCADA utilizan generalmente una combinación de enlaces de radio y señales directas tipo serial o conexiones de módem para cumplir con los requerimientos de comunicaciones exigidos, incluso emplean Ethernet e IP (Red LAN) sobre fibra óptica, frecuentemente usada en sitios geográficamente muy grandes como ferrocarriles y estaciones de energía eléctrica.

La red de comunicación utiliza diferentes medios para comunicar la MTU con las RTU entre los cuales se encuentran: línea dedicada, línea telefónica, cable coaxial, fibra óptica, telefonía celular, radio VHF/UHF, microondas, satélites entre otros. De esta forma los datos son transferidos hacia una estación central mediante el medio físico más apropiado. La manera en que se envían o reciben los datos y parámetros en un proceso, se encuentra incorporado como parte indispensable dentro de un sistema SCADA. El soporte de la comunicación a tener en cuenta depende del tamaño y la envergadura del sistema SCADA, la distancia hasta las RTU, la cantidad de datos que se van a transmitir, velocidad y disponibilidad del servicio público de comunicación, características del proceso y tipo de aplicación, entre otras. (Castellanos, 2008)

### **Sensores.**

Un sensor es un dispositivo capaz de medir magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una Tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que Puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la

propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. Áreas de aplicación de los sensores: Industria automotriz, Industria aeroespacial, Medicina, Industria de manufactura, Robótica, etc.

Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a una base de datos, la toma de valores desde el sensor, etc.

### **Dispositivos para la comunicación.**

Son los que permiten a los sensores y actuadores formar parte de la infraestructura de una red de comunicaciones industrial. Estos dispositivos son opcionales ya que los PLC o RTU pueden recibir/enviar la información directamente del/al sensor/actuador. Se puede dar el caso cuando el (RTU o PLC) debe manejar un número de dispositivos mayor al de sus entradas o salidas. En ese caso se establece una red entre los dispositivos de campo y el PLC o RTU.

### **1.3.2 Software**

#### **Software para HMI**

Es un programa que permite construir las HMI, además de que debe ser capaz de restringir el acceso de las personas al sistema y generar señales de alarma en caso de fallas. Ejemplos de este tipo de programas son el INTOUCH, WINCC, LABVIEW, etc.

HMI (Human Machine Interface), es la Interfaz Humano-Máquina que puede ser una simple lámpara indicadora, o constar de un conjunto de pantallas donde se encuentra esquematizado, gráficamente, el proceso que se desea monitorar o supervisar. En otras palabras, es el mecanismo que permite la interacción del ser humano con el proceso.

#### **Software para Tratamiento de Datos**

Se maneja en mayor medida en un nivel administrativo y de gestión, permitiendo crear bases de datos donde se almacenan los datos históricos del proceso e incluso puede permitir un tratamiento estadístico de los mismos. Un ejemplo de este tipo de software es el INSQL junto con el Active Factory de la Wonderware.

### **1.3.3 Protocolos de Comunicación**

A nivel de los dispositivos de campo y proceso, se utilizan protocolos como CanBus, HART, Fieldbus, Profibus, entre otros para comunicaciones tanto entre dispositivos de campo, como entre los niveles de supervisión y los niveles gerenciales y administrativos.

#### **PROFIBUS**

Especifica las características técnicas y funcionales de un sistema basado en un bus de campo serie en el que controladores digitales descentralizados pueden ser conectados entre sí desde el nivel de campo al nivel de control. Se distinguen dos tipos de dispositivos, dispositivos maestros, que determinan la comunicación de datos sobre el bus. Un maestro puede enviar mensajes sin una petición externa cuando posee el control de acceso al bus (el testigo). Los maestros también se denominan estaciones activas en el protocolo Profibus. Como segundo tipo están los dispositivos esclavos, que son dispositivos periféricos. Los esclavos son normalmente dispositivos de E/S, válvulas, actuadores y transmisores de señal. No tienen el control de acceso al bus y sólo pueden recibir mensajes o enviar mensajes al maestro cuando son autorizados para ello. Los esclavos también son denominados estaciones pasivas, por lo que sólo necesitan una parte del protocolo del bus. También es posible trabajar en Profibus en modo multimaestro en el cual todos los dispositivos pueden actuar, cuando les llega el testigo, como maestros del bus. Existen tres variantes de este protocolo: Profibus DP (Periferia Distribuida; Decentralized Peripherals), desarrollada en 1993, es la más extendida. Está orientada a control a nivel sensor/actuador; Profibus FMS, diseñada para control a nivel de célula. Si bien fue la primera versión de Profibus, es una versión prácticamente obsoleta; Profibus PA, es la solución integrada para control a nivel de proceso.

#### **ETHERNET**

Es un estándar para redes de área local de computadoras, desarrollado en los años 70 por las compañías Digital, Intel y Xerox. En 1985, la IEEE estandariza la tecnología Ethernet y se crea el estándar IEEE802.3. Provee simplicidad en su implementación, así como compatibilidad, direccionamiento flexible, equidad, etc., por ello es un estándar muy popular en la actualidad. Ethernet trabaja con los protocolos TCP/IP a nivel de las capas 4 y 3 del modelo OSI. (Fernando et al., 2009)

## 1.4 Ventajas y desventajas de los sistemas SCADA.

### Ventajas

Reducción de los costos de producción, operación y mantenimiento. Aumento de producción.

- Diversificación de la producción.
- Mejoramiento de la coordinación con el área de mantenimiento.
- Se dispone de información precisa para efectos de estudio, análisis y estadística.
- No se requiere de personal para realizar labores de lectura de las variables puesto que estos son leídos y enviados a centros de cómputos a través de la red.
- Sistema de medición más rápido y confiable.

### Desventajas

- Se requiere de una red industrial fiable, pues resultaría crítico para el sistema no contar con la misma.
- Alto costo inicial, por concepto de adquisición de los equipos e implantación del sistema acorde a las necesidades y requisitos exigidos.
- Se requiere además realizar gastos en conexión a la red de datos. (Castellanos, 2008)

### 1.4.1 Ejemplos de SCADA y campos de aplicación.

EL sistema SCADA por sus características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución de los paquetes de software amplía continuamente este campo para poder satisfacer las necesidades que se necesiten en el ámbito de sus posibilidades reales. Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones donde es necesario realizar control, supervisión, adquisición de datos, generación de alarmas y reportes, representación de variables en la interfaz gráfica de forma clara y concisa. Para el control y supervisión se utilizan a nivel mundial paquetes de software tales como:

- Aimax, de Desin Instruments S.A.
- CUBE, Orsi España S.A.
- FIX, de Intellution.
- Lookout, National Instruments.
- Monitor Pro, de Schneider Electric.

- 
- Movicon X2, de Progea.
  - SCADA InTouch, de LOGITEK.
  - SYSMAC SCS, de Omron.
  - Scatt Graph 5000, de ABB.
  - WinCC, de Siemens.

### **Campos de Aplicación de los Sistemas SCADA.**

Los sistemas supervisores se han expandido en cuanto a aplicaciones en disímiles ramas dentro de las cuales se encuentran:

- Automoción, Ferrocarriles, Aeroespacial
- Dómotica (Building Automation).
- Calor y Refrigeración.
- Logística.
- Maquinaria, Empaquetado y Mecánica.
- Química y Petroquímica.
- Papel, Cerámica, Madera y Cristal
- Plástico, Textil.
- Tratamiento de Agua.
- Investigación.
- Alimentación e Industria de Bebidas.
- Potencia y Energía. (Herrera, 2009)

### **1.5 OPC.**

Un servidor OPC es una aplicación de software (driver) que cumple con una o más especificaciones establecidas por la Fundación OPC. Los servidores OPC están compuestos por dos partes. La primera parte se comunica con una o muchas fuentes de datos utilizando el protocolo propietario perteneciente a las fuentes de datos. La segunda parte se comunica con uno o muchos Clientes OPC utilizando el protocolo estándar OPC. En una arquitectura Cliente OPC / Servidor OPC, el Servidor OPC hace de elemento esclavo mientras que el Cliente OPC hace de maestro. La comunicación entre un Cliente OPC y un servidor OPC

es bidireccional lo que significa que el Cliente OPC puede tanto leer como escribir en el Servidor OPC.

OPC se basa en la tecnología OLE/COM de *Microsoft*. Esta tecnología permite que componentes de software (escritos en C y C++ por expertos en un sector) sean utilizados por una aplicación (escrita en *Delphi* o *Visual Basic* para otro sector). De esta forma se desarrollarán componentes en C y C++ que encapsulen los detalles de acceder a los datos de un dispositivo, de manera que quienes desarrollen aplicaciones empresariales puedan escribir código en *Visual Basic* que recoja y utilice datos de planta. El diseño de los interfaces OPC soporta arquitecturas distribuidas en red. El acceso a servidores OPC remotos se hace empleando la tecnología DCOM de *Microsoft*.

Los fabricantes de hardware no pueden desarrollar un controlador eficiente y utilizable por todos los clientes debido a las diferencias de protocolos existentes. OPC proporciona un mecanismo para extraer datos de una fuente y comunicarlos a cualquier aplicación cliente de manera estándar. Los fabricantes de hardware pueden desarrollar servidores optimizados para recoger datos de sus dispositivos. Dando al servidor una interfaz OPC, que permite a cualquier cliente acceder a dichos dispositivos.

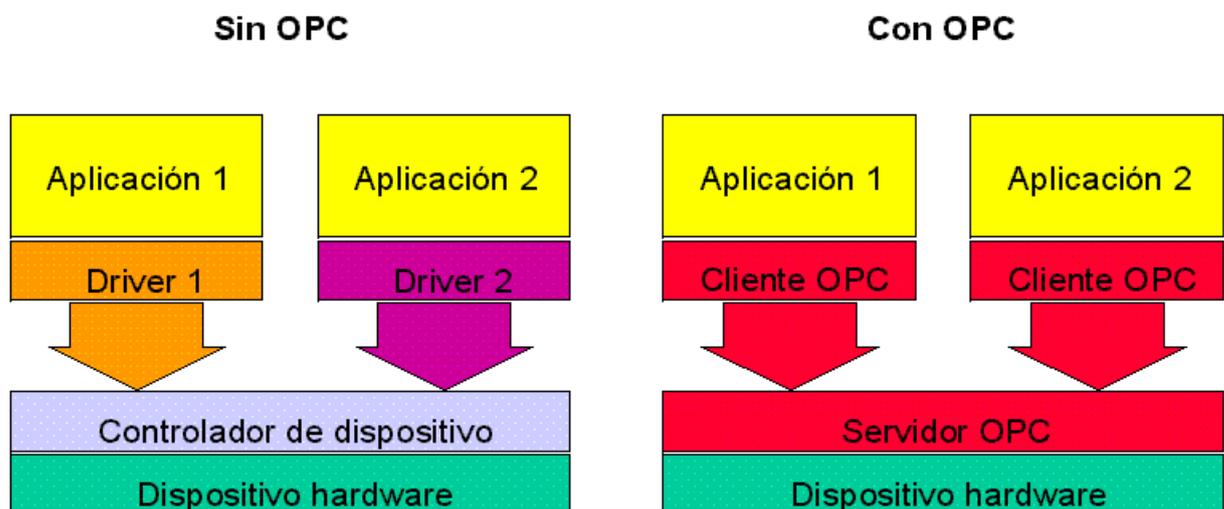


Figura 1.1. Implementación de tecnología OPC.

### 1.51 Ventajas y desventajas de OPC.

#### Ventajas

- Apertura de comunicación de los SCADA a los sistemas de automatización, generando una libertad casi total de elección en el hardware.
- Apertura de comunicación a plataformas no industriales, como MS Office, permitiendo de esta manera realizar soluciones costo-efectivas a procesos particulares.
- Migración gradual de sistemas antiguos: Generalmente, lo primero que conviene "modernizar" en un sistema de automatización antiguo es el HMI o SCADA, pues es lo que se encuentra tecnológicamente más obsoleto. Utilizar OPC permite integrar paquetes nuevos de software SCADA con los sistemas ya existentes, incluso de varias décadas de instalación, cuando se ha perdido o no se han desarrollado interfaces compatibles.
- Existe una gran variedad de servidores OPC para todas las marcas y estándares, permitiendo elegir el más adecuado para las necesidades o conocimientos de cada uno. En la web se ofrecen una enorme variedad de alternativas, logrando incluso bajarlas como "demo" o de uso limitado.

#### Desventajas.

- Es una solución de software, con lo que el desempeño en términos de tiempo de respuesta y fiabilidad nunca son los mejores.
- El uso de un servidor OPC básico puede ser muy sencillo, pero generalmente son los que tienen menores prestaciones. Los OPC de calidad industrial (que pueden dar respuestas casi en tiempo real) demandan procedimientos de configuración más engorrosos.
- Muchas veces, utilizar OPC es más caro que adquirir un SCADA con los drivers apropiados integrados. La tentación de desarrollar un SCADA propio basado en OPC, puede ahorrar los costos de licencias de paquetes específicos de desarrollo, pero conviene prestar atención a los costos por horas de ingeniería en un producto final no estándar. (Herrera, 2009)

### **1.6 Selección de Proveedores.**

El procedimiento basado en multicriterios para la selección de proveedores que se propone en este trabajo surge como consecuencia de la necesidad de mejorar la gestión de compras estratégicas en las empresas. Casi todos los acontecimientos de la vida se manifiestan como un proceso constante de toma de decisiones. Antes de elegir qué hacer es importante analizar todas las alternativas posibles de solución al problema.

La gestión de compras es el conjunto de acciones que realizan los miembros de una organización con el fin de obtener del exterior los bienes y servicios necesarios, en el momento oportuno garantizando los mejores resultados posible para la organización.

Algunos de los objetivos de la función de Compras son:

1. Mantener una continuidad en los suministros de acuerdo con los planes de producción.
2. Proporcionar los productos, materiales y servicios de acuerdo con las especificaciones de calidad requerida.
3. Obtener los productos necesarios, al costo más bajo posible dentro de las necesidades de calidad y plazos de entrega requeridos.
4. Prevenir al departamento comercial y a la gerencia general de las variaciones de precios, coyunturas, tendencias, otros.

Freese (1996) propone a grandes rasgos el siguiente procedimiento para la selección de un proveedor de servicios logísticos (Operador Logístico).

1. Recolectar datos e información necesaria, en esta etapa se hace necesario por parte del que solicita el servicio hacerse algunas preguntas.
2. Preparar una lista con los proveedores o prestatarios potenciales, se debe buscar toda la información disponible en la organización, Internet y otras fuentes de información.
3. Hacer la petición de oferta y enviarla a los proveedores potenciales, se diseña el formato de la petición de oferta para realizar un proceso de evaluación eficiente.
4. Establecer los criterios de evaluación y el peso o importancia relativa de cada uno de ellos, para realizar una buena evaluación es necesario hacer un análisis previo.

5. Reducir candidatos a un número razonable, esto se realizará a través de una evaluación preliminar respecto a los criterios.
6. Realizar una evaluación y selección precisa de los candidatos que quedan.
7. Proceso de valoración de los precios.
8. Realizar el contrato formal con el proveedor seleccionado.( Freese, 1996)

Se conoce también un procedimiento a través de un conjunto de etapas para realizar una evaluación estratégica de los proveedores sobre la base de parámetros o criterios que inciden directamente en la calidad y eficiencia del servicio hotelero. Las etapas que se proponen son las siguientes:

1. Clasificación de los proveedores.
2. Definición de los parámetros más importantes para la evaluación de los proveedores.
3. Formulación de la matriz de evaluación de los proveedores.
4. Determinación del nivel de incidencia de los proveedores en la calidad del servicio.
5. Selección de los proveedores.

Matrices de Evaluación y Selección.

Las matrices de selección y evaluación de problemas son arreglos de filas y columnas, donde las primeras constituyen las alternativas (problemas, causas, soluciones) que requieren ser jerarquizadas y las columnas los múltiples criterios que conviene utilizar en la selección.

La utilidad del análisis a través de matrices reside en que ayuda a los grupos de trabajo a tomar decisiones más objetivas, cuando se requiere tomarlas sobre la base de criterios múltiples.

Se pueden diferenciar tres tipos de matrices:

1. Matriz de selección o jerarquización de problemas.
2. Matriz de jerarquización de causas.
3. Matriz de selección o jerarquización de soluciones.

### Fases de la Técnica de Matrices de Evaluación y Selección.

Los pasos que se siguen para utilizar una matriz de evaluación y selección son los siguientes:

1. Definir las alternativas que van a ser jerarquizadas. Estas alternativas pueden estar referidas a problemas, causas o soluciones.
2. Definir los Criterios de Evaluación: En este caso es importante asegurar que todas las personas involucradas en la selección entiendan de igual forma, el significado de cada criterio. El utilizar ejemplos ayuda a homogeneizar el significado de los criterios definidos.
3. Establecer el peso para cada uno de los criterios: Todos los criterios no tienen la misma importancia. En este caso, es necesario definir el peso que tienen cada uno de los criterios con los cuales se evalúan las diferentes alternativas. Para esto, lo más recomendable es repartir entre los criterios definidos, un número de puntos de acuerdo a una escala dándole la puntuación más alta a aquel que se considere más importante. Existirán criterios que de no cumplirse para alguna alternativa, ésta no podrá ser seleccionada, aunque sea la que mayor cumpla con todos los demás criterios. Cuando ello sucede, será necesario evaluar todos los renglones en relación al criterio o criterios que necesariamente se deben cumplir, descartando de una vez las alternativas que no cumplan con dichos criterios.
4. Construir la Matriz de Evaluación: Este paso tiene como objetivo, construir un arreglo de filas y columnas, donde se muestren las alternativas a evaluar, los criterios y el peso de cada uno de los criterios.
5. Definir la Escala de Gradación de cada criterio: Lo ideal es tratar de definir una escala numérica donde se evalúen las alternativas en relación a los criterios. Cuando no sea posible cuantificar la escala de gradación de los criterios, podrá aplicarse una gradación cualitativa, (poco normal, mucho, etc. O deficiente, regular, bueno, excelente), asignando para efectos de cálculo un valor a cada nivel.
6. Valorar cada alternativa en relación a cada criterio: En este paso, el objeto es evaluar en qué grado las alternativas cumplen con los criterios definidos, utilizando la escala establecida en el paso anterior. El resultado, se debe anotar en las casillas correspondientes.
7. Puntuación Definitiva y Jerarquización, para completar este paso se requiere:

- 
- Multiplicar el valor obtenido en el paso anterior por el peso de cada criterio. De esta forma, cada alternativa recibe una puntuación diferente por cada criterio.
  - Sumar los puntos obtenidos por cada alternativa para obtener la puntuación total de cada una de ellas.
  - Ordenar las alternativas en orden decreciente de la puntuación total obtenida. (Millo, 2009)

## **CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DEL OBJETO TECNOLÓGICO**

Este capítulo se encamina a entender el funcionamiento del área comprendida para la implementación del sistema SCADA, se conocerán aspectos importantes sobre los elementos a controlar y se profundizará en la identificación de las variables a manejar para un posterior dimensionamiento del sistema a emplear. Es preciso mencionar que toda esta información se ha reunido a partir de consultas a los diferentes especialistas de los distintos departamentos entre los que encontramos el de los mecánicos, los eléctricos y los del grupo de AIT, automática, informática y computación, toda esta información recopilada será de gran ayuda a la hora desarrollar tanto la arquitectura como la programación del sistema en general. Dentro de la información que se ha logrado reunir encontramos las características técnicas de las bombas y motores eléctricos correspondientes a cada una de ellas, planos de las líneas que entran y salen tanto desde los tanques como de las bombas, hojas de datos de las electroválvulas a emplear e información de los distintos tanques donde encontramos datos como alturas de referencia, máximo de operación, mínimo de operación, entre otras.

### **2.1 Estaciones de Bombeo**

En la Refinería Camilo Cienfuegos por motivos de organización y seguridad de cada área se encuentra identificada por números que son los llamados títulos, las estaciones de bombeo en esta área se dividen en cuatro.

Títulos 11/1 y 11/2 Productos Claros y Negros – 27 Bombas

Título 51 Productos Intermedios – 15 Bombas

Título 56 Preparación de Gasolina – 10 Bombas

Título 14 Petróleo – 5 Bombas

### 2.1.1 Características y Aplicaciones de las Bombas Existentes

Hay muchas formas de clasificar las bombas. Por rangos de volúmenes a manejar, por fluidos a mover, etc. Sin embargo, la clasificación más general es en función de la forma en que las bombas imprimen el movimiento al fluido, separándose en dos tipos principales.

Dentro de ésta clasificación los tipos de bombas más comúnmente utilizadas son las llamadas Centrífugas y Rotatorias (de tornillo), en ellas concentraremos éste estudio, pues son las que se utilizan en las estaciones de bombeo.

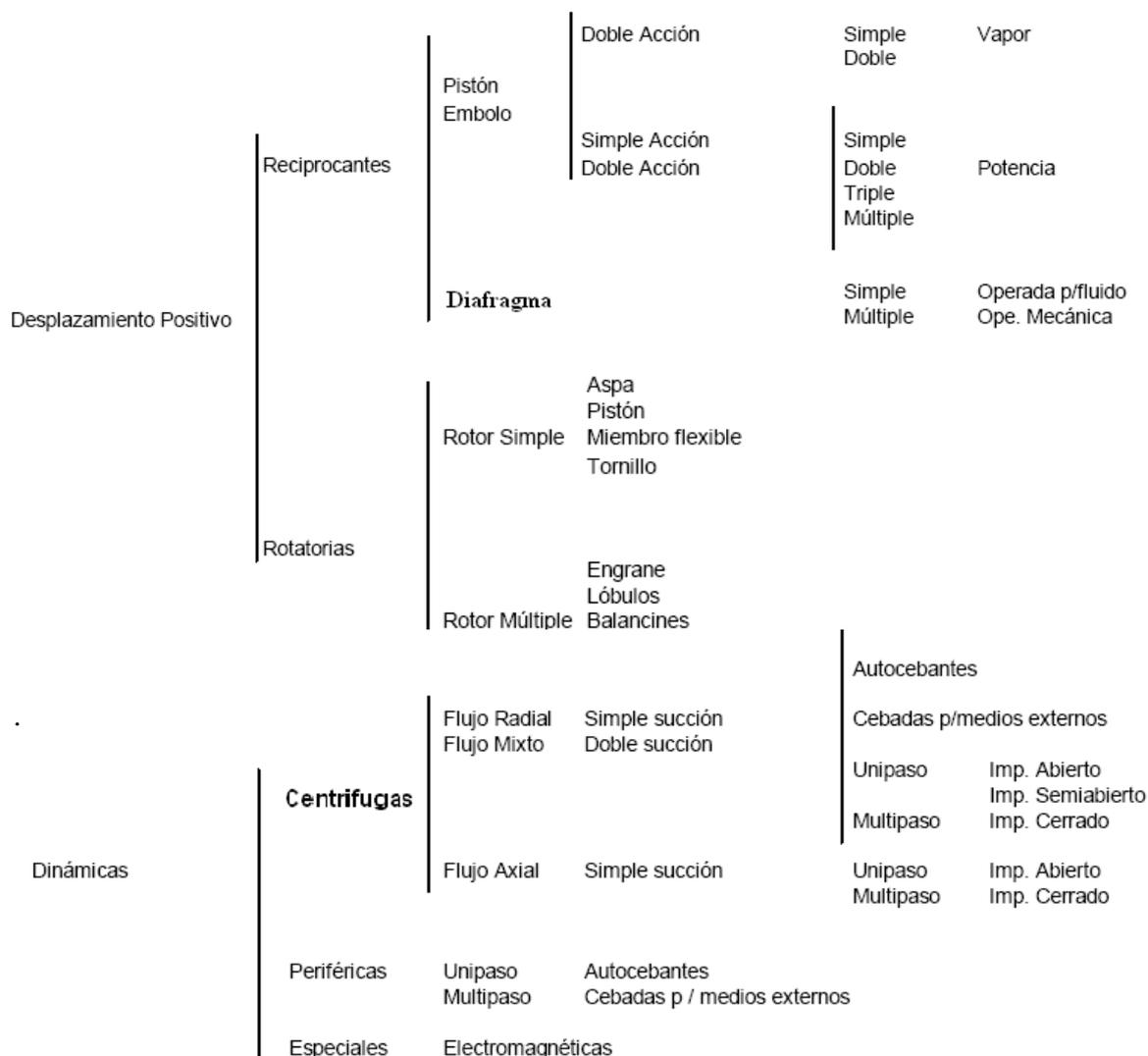


Figura 2.1. Clasificación de Bombas.

Si tenemos un cubo lleno de agua atado al extremo de una cuerda, y lo ponemos a girar, el agua contenida en el cubo permanecerá ahí, pegándose al extremo del cubo con una fuerza originada por la velocidad rotacional. Esa es la fuerza centrífuga, y es la base del principio de operación de las bombas centrífugas.

Algunas de las características de estas bombas son las siguientes:

- Descarga de flujo continuo, sin pulsaciones.
- Puede bombear todo tipo de líquidos, sucios abrasivos, con sólidos, etc.
- Altura de succión máxima del orden de 4.5 metros de columna de agua.
- Rangos de presión de descarga hasta 150 kg/cm<sup>2</sup>.
- Rangos de volúmenes a manejar hasta 20,000 m<sup>3</sup>/h

A diferencia de otros tipos de bombas, las centrífugas, operando a velocidad constante proporcionan un flujo desde 0 hasta su valor máximo, en función de la carga, diseño propio y condiciones de succión.

**Bombas Rotatorias.**

Las bombas rotatorias, en sus diferentes variedades, se consideran de desplazamiento positivo, pues su principio de operación está basado en un transporte directo del fluido de un lugar a otro.

Los elementos rotatorios de la bomba crean una disminución de presión en el lado de succión, permitiendo así que una fuerza externa (en ocasiones la presión atmosférica) empuje el fluido hacia el interior de una cavidad; una vez llena ésta, los elementos rotatorios, en su propia rotación, arrastran o llevan el fluido que quedó atrapado en la mencionada cavidad, formada por la parte rotatoria de la bomba y la carcasa (estacionaria), siendo empujado hacia la descarga, forzándose a salir. El fluido así, es prácticamente desplazado de la entrada hacia la salida en un movimiento físico de traslación.

Los tipos de bombas rotatorias más comunes son las llamadas de engranes, tanto externos como internos, bombas de lóbulos y bombas de tornillo. Algunas de las características de las bombas rotatorias son las siguientes:

- Producen flujo continuo, sin pulsaciones.

- Su capacidad de succión es 0.65 atmósferas (6.5 m de col. de agua).
- Su capacidad de flujo es generalmente de bajo rango.
- Su rango de presión de descarga es medio, del orden de 20 kg/cm<sup>2</sup> máximo.

Por sus características de operación, la capacidad de manejo de flujo en una bomba rotatoria, está en función de su tamaño y velocidad de rotación.

En particular su rango de fluidos más adecuado, son los de alta viscosidad como grasas, mezclas, pinturas, etc. También, por su adecuado control de volúmenes en función de la velocidad, son adecuadas para usarse como bombas dosificadoras de productos que deben ser medidos con precisión.

Algunas de las variables que intervienen en el comportamiento de la curva característica de una bomba son:

- Capacidad
- Presión de Descarga, Presión de Succión y Carga
- NPSH (Carga Neta Positiva de Succión)
- Eficiencias de la Bomba
- Cavitación (Marchegiani, 2004)

### 2.1.2 Señales de Entrada y Salida asociadas a las Bombas

A continuación vamos referirnos a las señales digitales asociadas a las estaciones de bombeo, dichas señales pueden ser de entrada (→) o salida (←) desde el Centro de Control de Motores (CCM) o los instrumentos de campo hasta el SCADA.

- |   |                                    |   |
|---|------------------------------------|---|
| 1- Bomba Funcionando                      | ← CCM                              | } |
| 2- Bomba Detenida                         | ← CCM                              |   |
| 3- Arrancar Bomba                         | → CCM                              | } |
| 4 -Detener Bomba                          | → CCM                              |   |
| 5 - Abrir válvula solenoide SBV de purga  | → Válvula                          | } |
| 6 - Cerrar válvula solenoide SBV de purga | → Válvula                          |   |
| 7 -Nivel de purga suficiente              | ← Desde LSH (Interruptor de Nivel) |   |

- 8 - Abrir válvula solenoide SBV de agua de enfriamiento → Válvula
- 9 - Cerrar válvula solenoide SBV de agua de enfriamiento → Válvula
- 10 - Flujo de agua de enfriamiento ← FISL (indicador de flujo rotámetro)
- 11 - Presión a la succión de la Bomba ← Sensor de Presión
- 12 - Presión a la descarga de la Bomba ← Sensor de Presión
- 13 - Temperatura en el cojinete de la Bomba (Alarma viene dada por la temperatura del cárter) ← Sensor de Temperatura
- 14 - Temperatura del motor de la bomba ← Sensor de Temperatura
- 15 - Interruptor de Presión a la descarga de la Bomba ← (Interruptor de presión)
- 16 - Flujo de Salida de la Bomba ← Sensor de Flujo

### 2.1.3 Alarmas desde las Estaciones de Bombeo

Las alarmas cableadas hasta el SCADA de tanques y conectadas vía software al DCS de la planta se establecen como:

1. Baja Presión de Descarga de la Bomba
2. Alta Temperatura del Carter de la Bomba
3. Muy Alta Temperatura del Carter de la Bomba
4. Bajo flujo de agua de enfriamiento a la Bomba
5. Bajo Nivel de cebado de purga de la Bomba
6. Alta Temperatura del motor de la Bomba
7. Alto consumo de energía

### 2.1.3 Algoritmos de Control

Para obtener un permiso de arranque de la bomba el sistema tiene que garantizar el correcto funcionamiento de ciertos parámetros, los cuales además de influir en los permisos de arranque, pueden ocasionar paradas por emergencia.

Control de purga para el arranque y suministro de Agua de Enfriamiento de la Bomba.

Para asegurar el nivel de purga suficiente en una bomba, se cuenta con una válvula de suministro de purga LV con una válvula solenoide SBV y un interruptor de nivel LSH.

Antes del arranque de la bomba, el SCADA abre la válvula LV, la cual permite el paso de purga para el proceso de llenado para la ceba de la bomba en tiempo aproximado de 1 a 1.5 minutos. Una vez que se cuente con suficiente producto de ceba, el interruptor LSH se encarga de indicar al SCADA que hay nivel suficiente de purga en la bomba para dar el permisivo de arranque.

Con este permisivo, el SCADA cierra la válvula de control LV, por medio del cierre de la válvula solenoide SBV y entrega el permisivo de arranque al CCM de la bomba.

Una vez que el permisivo de arranque de la bomba está activado, el SCADA abre la válvula solenoide SBV y en consecuencia se permite la apertura de la válvula de control FV. Esto activa la circulación de agua de enfriamiento a la bomba, cuyo flujo es medido por el indicador de flujo local tipo rotámetro FISL.

Durante la operación normal de la bomba, el flujo de agua de enfriamiento es monitoreado constantemente por el indicador de flujo FISL. En caso que el flujo sea menor a 0,15 m<sup>3</sup>/h, el SCADA activará un paro de la bomba hasta que se determine la causa del bajo flujo y se tomen las acciones correctivas y se arranque de nuevo la bomba de acuerdo a lo explicado anteriormente.

En caso de que la bomba sea detenida desde el punto de vista operacional o por un paro por bajo flujo de agua de enfriamiento, el SCADA inicializa el proceso de cebado de la bomba indicada anteriormente por medio de la válvula de suministro de purga LV con su válvula solenoide SBV y el interruptor de nivel LSH. Además cierra el agua de enfriamiento por medio del cierre de la válvula solenoide SBV y en consecuencia se cierra la válvula de control FV.

Control de Presión y Flujo en la Estación de Bombeo.

El flujo de las bombas (P) hacia los Tanques TK, se regula con el lazo de control FIC. Este bloque PID actúa en acción inversa para abrir la válvula de control FV, ubicada en el cabezal de descarga de las bombas, en caso de una disminución del flujo del mismo, medido con el transmisor de flujo FT. De la misma forma, este bloque PID cierra la válvula de control FV en caso de un aumento del flujo de descarga de dicho cabezal. Todo esto para mantener el flujo de combustible desde las bombas (P) hacia los Tanques (TK) a un valor de deseado (Punto de Ajuste).

La presión de descarga de la bomba (P1) se regula con el lazo de control PIC. Este bloque PID actúa en acción directa para abrir la válvula de control PV, ubicada la unión entre la descarga de la bomba (P1) y la succión de la bomba (P), en caso de un aumento de la presión de descarga de la bomba (P1), medida con el transmisor de presión PT. De la misma forma, este bloque PID cierra la válvula de control PV en caso de una disminución de la presión de descarga de dicha bomba. Todo esto para mantener la presión de descarga de la bomba (P1) a un valor deseado (Punto de Ajuste).

## **2.2 Patio de Tanques**

El patio de tanques hoy en día cuenta con un total de 72 tanques que se operan con volúmenes desde los 7 599 m<sup>3</sup> hasta los 20 400 m<sup>3</sup> pocos milímetros representan grandes cantidades de producto, con la futura expansión se cree que el número de tanques llegará a ser de 120 aproximada mente.

### **2.2.1 Señales de Entrada y Salida Asociadas a cada Tanque**

A continuación nos referirnos a las señales digitales asociadas al patio de tanques que son enviadas desde el sistema Tank-Vision vía Profibus hasta el sistema SCADA. Dichas señales son todas de entrada al SCADA (←) desde el sistema Tank-Vision.

1. Nivel del Tanque ← Transmisor de Nivel tipo radar, servomecanismo, etc.
2. Temperatura promedio del contenido del tanque ← Elemento de Temperatura Protermo
3. Nivel de H<sub>2</sub>O en el Fondo del Tanque ← Protermo
4. Densidad del Producto ← Transmisor de Presión Cerabar

### **2.2.2 Alarmas desde los Tanques**

1. Alto Nivel del Tanque
2. Bajo Nivel del Tanque
3. Muy Alto Nivel del Tanque
4. Alto Nivel de Agua en fondo del Tanque

### 2.3 Elementos Finales de Control

En el control automático de los procesos industriales la válvula de control juega un papel importante en el bucle de la regulación. Realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el caudal de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable. Dentro del bucle de control tiene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador.

En nuestro caso contamos con actuadores eléctricos de Rotork. La reconocida y probada gama IQ de actuadores eléctricos inteligentes de Rotork ha sido mejorada – manteniendo sus características legendarias como su doble sellado y configuración no intrusiva por infrarrojos – aumentando sus prestaciones y fiabilidad a la vez que se ha ampliado la gama al incluir los actuadores IQT de un cuarto de vuelta.

Múltiple conectividad utilizando otros buses.

Además de ofrecer una total compatibilidad con el sistema de control Pakscan de Rotork, los actuadores IQ/IQT pueden especificarse para que se integren en cualquier otro sistema de control que use los protocolos de comunicación Modbus, Profibus, o Foundation Field Bus. Esto se consigue de manera sencilla y barata mediante el montaje de una tarjeta fabricada por Rotork dentro de la carcasa del actuador. La puesta en marcha y regulación se lleva a cabo mediante el uso de de las herramientas del network y de la herramienta de infrarrojos del IQ.

Los actuadores IQ disponen de todo lo necesario para la operación eléctrica local y remota de la válvula. Incluyen el motor eléctrico, los engranajes, el arrancador, los controles locales los dispositivos para el control del par y la posición, así como la lógica de control, todo ello dentro de un carcasa hermética con doble sellado de acuerdo con IP68 7 metros-72 horas, NEMA 4, 4X y 6. Los ajustes del par y la posición así como la configuración de los contactos de indicación se efectúan con un mando de infrarrojos no intrusivo que se suministra con cada pedido.

#### **Control**

##### Control Local

Hay dos mandos no intrusivos en la carcasa del actuador, uno para la selección del control Remoto/Local/Stop que puede fijarse en cualquiera de las tres posiciones con un candado y

el otro para las órdenes de abrir y cerrar. Los mandos pueden girarse para orientarlos según la posición de montaje del actuador. El control local puede configurarse para que se ejecute con el mando de infrarrojos que dispone de botones específicos para abrir, cerrar, parar y funciona a una distancia nominal de 0.75 m de la pantalla.

### Control Remoto

Existen 6 entradas de control remoto.

- Abrir / cerrar / Stop – mantenido.
- Posicionamiento de emergencia ESD.
- Enclavamiento de apertura y enclavamiento de cierre.

El control puede conectarse para que sea mantenido o pulsante para posicionamiento. La orden de ESD debe derivarse de un contacto mantenido. La orden de ESD puede configurarse para que se ejecute cuando su valor sea uno o cero para que la válvula se abra o se cierre y con la opción de que el termostato quede anulado\* o no. La orden de ESD es prioritaria sobre las otras órdenes remotas o locales. Puede configurarse para que también sea prioritaria sobre el Stop Local, los enclavamientos y el Temporizador cuando esté instalado. La entrada de ESD opera con un común independiente de las otras órdenes lo que permite una separación galvánica entre el sistema de control de emergencia y el operativo.

El control remoto puede configurarse de modo que la orden de abrir y el enclavamiento de apertura (o la orden de cerrar y el enclavamiento de cierre) se combinen para proporcionar una orden remota de apertura (o cierre) que permita la detección de un fallo de control. Cuando se configuren así, los enclavamientos no funcionarán con el control local.

### Opciones de Control Remoto.

1. Conmutación por el negativo
2. Alimentaciones de control externas
3. Control Proporcional analógico
4. Sobrepressiones y golpes de arietes

**Indicación, monitorización.**

## Local

Una pantalla de cristal líquido retro iluminada proporciona una indicación de la posición de las válvulas con una resolución del 1% y 3 LED de colores rojo, verde y ámbar indican si la válvula se encuentra abierta, cerrada o en posición intermedia. La pantalla también dispone de 4 iconos de diagnóstico rápido de alarma en la válvula, el actuador, el circuito de control o batería baja.

Se puede seleccionar con el mando de infrarrojo que la pantalla indique simultáneamente la posición y el par de salida. Existen pantallas de ayuda que proporcionan información sobre la situación de la válvula el actuador y las señales de control. La pantalla de indicación puede girarse para adecuarse a la posición de montaje del actuador y la indicación de los LED puede invertirse.

## Remoto

Hay 4 contactos libres de potencial, S1, S2, S3 y S4 que pueden configurarse independientemente con el mando de infrarrojos para señalar una de las siguientes funciones:

1. Posición de la Válvula.
2. Estado de la Válvula.
3. Alarmas de la Válvula
4. Alarmas del Actuador
5. Relé monitor

## **CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo. Realizando énfasis en el cumplimiento de los principales objetivos, especificación del SCADA, y la matriz de selección. Como epígrafe final un análisis económico con relación al proyecto.

### **3.1 Especificaciones del SCADA**

Para la realización de dichas especificaciones se han seguido un conjunto de códigos, normas y estándares, los cuales permitirán y guiarán el correcto desarrollo del trabajo. Las especificaciones del SCADA consta con una cantidad de 61 páginas, en el cual se han establecido los criterios, normas, requerimientos técnicos y funcionales que regirán el proceso del diseño, fabricación, pruebas, identificación, inspección para el suministro del sistema. (Peña, 2010)

Códigos, normas y estándares empleados.

K-300 “PDVSA Instrumentation Introduction“

K-309 “SCADA Systems”

K-334 “Instrumentation Electrical Requirements”

K-360 “Programmable Logic Controllers”

O-201 “Selección y Especificaciones de Aplicación de Sistemas Anticorrosivos de Pinturas”

### 3.1.1 Estructura del Documento

El documento se confeccionó de la siguiente forma:

Título del Documento

Objetivos

Alcance

Terminología

Códigos, Normas y Estándares

Condiciones ambientales del sitio

Documentos y planos de referencias

Alcance de Suministros y Servicios

Requerimientos generales

Requerimientos específicos

- Funcionales
- Hardware
  - Servidor
  - Estación de trabajo de operación
  - Entradas\Salidas
  - Módulos de comunicación
  - Procesador
  - Fuentes de Alimentación en Racks
- Requerimientos de Software, Programación y Configuración
- Gabinetes

Manuales

Repuestos

Información y planos

Adiestramientos

Garantía

Embalaje, transporte y almacenamiento

### **3.1.2 Requerimientos Generales del SCADA**

El Sistema de Control y Adquisición de Datos (SCADA) al ser ubicado en área correspondiente a Título-62 (Sala de Control de MAP), estará conformado por una Unidad Terminal Maestra (MTU), a ser ubicada en la sala de control, y tres (03) Controladores Lógico-Programables (PLC) para recolectar las señales provenientes de tarjetas de entrada y salida de campo. La unidad de control maestra estará basada en un servidor, una HMI (estación de trabajo) y la red de comunicación Ethernet para la comunicación con el PLC y la integración con el DCS de la planta combinada y el sistema existente en el patio de tanques, según la norma K-309 "Scada System".

El sistema se comunicará con el sistema de medición de las variables de tanques (Tank-Vision) usando comunicación Modbus/TCP, a través de la red local Ethernet a una velocidad de 100 Mbps, este sistema entregará información de las variables de un total de 72 tanques. Lo cual servirá para el envío de los cálculos volumétricos netos, eventos, datos históricos, valores de las variables de proceso (presión, temperatura, densidad, etc.) además de la alarma de falla de energía y estado del equipo.

Los instrumentos que generan alarmas o de control serán independientes de aquellos que generan paradas. El uso de transmisores en vez de interruptores es preferido para esta aplicación.

Los instrumentos o dispositivos de campo se comunicarán con el sistema a través de una interface de bus de campo, Profibus, y señales discretas en 24 Vdc cableadas directamente a los PLC.

El software del Sistema Supervisorio será capaz de manipular, obtener, almacenar, representar gráficamente e imprimir cualquier variable deseada del proceso, enviada a la Sala de Control de MAP (TIT. 62), a través de un dispositivo interfaz de campo, y así llevar

un registro histórico y en tiempo real del comportamiento tecnológico y físico del proceso, lo que permitirá entre otras actividades la supervisión y registro de actividades de transferencia y custodia de los productos refinados en condiciones normales de operación, la toma de decisiones al momento de ocurrir una condición anormal de operación, así como facilitar la ejecución de acciones al momento de presentarse una falla y/o alertar sobre posibles averías.

El tratamiento de toda la información por parte de los operadores de la planta, se hará a través de pantallas de proceso (previamente diseñadas en conjunto con los especialistas del cliente), las cuales duplicarán el proceso real existente en el campo, en el display de la Estación de Operación (OS), por lo que se podrá tener una visión real y confiable de los parámetros tecnológicos fundamentales del proceso.

El PROVEEDOR deberá expresar claramente cualquier excepción de los requerimientos de esta especificación, estará motivado a presentar propuestas alternativas que puedan mejorar los requerimientos de funcionalidad y/o la arquitectura del sistema especificado. Cualquier equipo adicional, dispositivo o software no incluido en esta especificación, pero requerido por El PROVEEDOR para cumplir con los requerimientos de funcionalidad especificados, deben ser incluidos en la propuesta.

El PROVEEDOR deberá notificar al CLIENTE cualquier desviación de esta especificación. El PROVEEDOR deberá ofrecer un sistema estándar, probado en campo (o basado en tecnología y conceptos probados), tanto hardware como software. Los equipos o software suministrados por terceros dentro del sistema objeto de esta especificación deberán cumplir también con este requisito, y El PROVEEDOR deberá incluir toda la documentación sobre las pruebas del fabricante. El suministro de las garantías de terceras partes dentro del sistema, es responsabilidad de El PROVEEDOR.

El sistema deberá ser flexible y modular, con capacidad para incorporar fácilmente hardware y software, por ejemplo: servidores, conmutadores, enrutadores, IRTU, Estaciones Maestras, módulos de entrada/salida, tarjetas de comunicación, acondicionadores de señal, interfaces, programas (lazos de control, despliegues, y secuencias) unidades de memoria, etc., con las mínimas interrupciones de proceso, incluyendo las facilidades para ejecutar el mantenimiento, prueba y reconfiguración de

todos los componentes en línea. La Unidad Terminal Maestra debe poseer una alta disponibilidad y tolerancia a fallas.

El sistema deberá ser diseñados para una máxima disponibilidad del 99,99 % (PDVSA K-309 y K-360) en ambos casos: falla segura y modo de falla peligrosa, la disponibilidad está definida como:

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ medio\ entre\ fallas(MTTF)}{MTTF + Tiempo\ medio\ para\ reparar(MTTR)} \times (100) \quad (3.1)$$

La comunicación entre la Unidad Terminal Maestra y las estaciones maestras se hará a través de Conmutadores de red, bajo protocolo FAST ETHERNET (100 Mbps) TCP/IP (OPC), debiendo incluir facilidades de autodiagnóstico. Para cumplir esto, cada servidor o estación tendrá, puertos de conexión para el enlace de comunicación ya mencionado así como para el computador portátil (Laptop) para mantenimiento y configuración, siendo capaz de recibir y transmitir información simultáneamente de esos equipos.

Los servidores y conmutadores de la red Ethernet de la Unidad de Control Maestra deberán ser para montaje en rack de 19" y ser suministradas en gabinete. El sistema deberá cubrir los requerimientos del proceso y tener como mínimo un 130 % de reserva no instalada en espacio para armazones (racks), 130 % de capacidad instalada un 130 % de espacio en el gabinete. Tendrá además capacidad para el manejo y almacenamiento de información de secuencia de evento y almacenamiento de eventos ocurridos hasta por tres meses.

Los PLC deben estar protegidas contra fallas que pueda tener como resultado, daños en el hardware por transitorios eléctricos o por señales de potencia o cualquier otro tipo de señal eléctrica; para ello se deben seguir las recomendaciones dadas en IEEE 472-1974.

El sistema debe garantizar la continuidad operacional de los equipos asociados al proceso, deben permitir la operación manual/local de los equipos de la instalación en caso de falla. Los equipos que conforman el SCADA no deberán ser afectados por interferencias de radio frecuencia UHF o VHF, radiotransmisores manuales de 5 w de potencia de salida, los cuales pueden operar en un radio de distancia menor de 30 cm de cualquier componente del sistema, de acuerdo a lo establecido en IEC 801-1 a 3.

Tanto la unidad terminal maestra como los PLC deberán ser ensamblados y cableados completamente en fábrica, con todos los dispositivos y equipos necesarios para su puesta en operación. Deben ser de alta disponibilidad y tolerancia a fallas en:

- CPU incluyendo memoria y tarjeta de comunicación.
- Fuente de Potencia.
- Bus interno entre CPU y Entrada / Salida.
- Tarjetas de entrada salida.

El software suministrado (configuración, programación) será 100 % funcional y libre de errores o deficiencias. Todo error detectado en las pruebas y dentro del período de garantía deberá ser corregido por El PROVEEDOR e incorporado a la configuración/programación del CONTROLADOR sin costo alguno para el CLIENTE antes del vencimiento de la garantía. El PROVEEDOR deberá actualizar todo el software antes de la finalización del periodo de garantía.

### 3.1.3 Arquetctura del SCADA de MCP

La arquitectura del SCADA para el área de M.C.P se muestra en la figura 1.2 donde podemos encontrar los principales elementos que la componen y el lugar donde éstos se van a localizar.

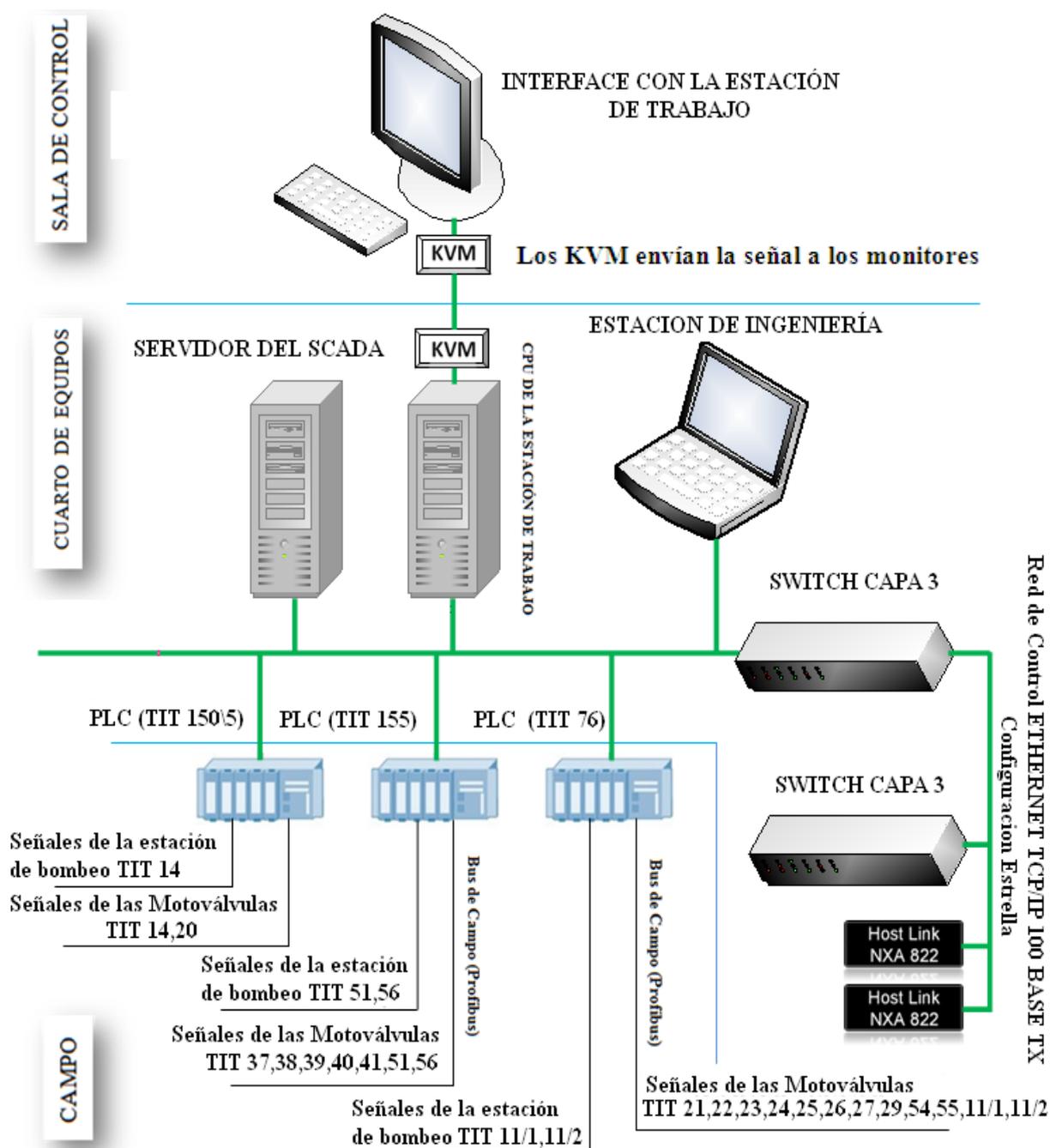


Figura 3.1 Arquitectura del SCADA de MCP

### 3.2 Matriz de Selección.

Después de un profundo análisis y basándonos en las especificaciones antes realizadas se conformó la matriz de selección a partir de los aspectos considerados en el epígrafe 1.6 titulado -Selección de Proveedores- correspondiente al capítulo I. En tal sentido se persigue como objetivo ayudar en la selección del proveedor más adecuado.

Para la confección de la matriz se necesitó de un estudio estadístico, el cual permitió establecer de forma cuantitativa el peso de cada criterio a la hora de seleccionar.

A continuación vamos a referirnos a los aspectos relacionados con los criterios de selección empleados.

#### 3.2.1 Criterios de Selección

##### 1. Garantías de Suministro/Servicio

- Garantizar el mantenimiento de las licencias de software (upgrades) a partir de la recepción por parte de Covenpetrol.
- Software con licencia para control y supervisión del SCADA con 6504 puntos de configuración.
- El PROVEEDOR deberá garantizar que sus equipos no entrarán en obsolescencia en un período no menor a 10 años, y que durante este mismo período de tiempo se garantizará el suministro y disponibilidad de repuestos. Queda establecido como período de garantía el mínimo de un (01) año a partir de la puesta en marcha y emisión por parte del CLIENTE.
- Representación/Vendedor en Cuba
- Contactos oficiales mantenidos entre la casa matriz del suministrador y la Dirección de CUPET/PDVSA.

## **2. Proyectos desarrollados en el mundo en esta área tecnológica en los últimos 15 años.**

Se tiene en cuenta los proyectos desarrollados por dicha entidad en el mundo en esta área tecnológica en un período que abarca los últimos 15 años.

## **3. Experiencia en nuestro país con el producto (o sus componentes)/Calidad demostrada.**

- Cantidad de aplicaciones del producto en otras entidades del MINBAS.
- Tiempo promedio de uso satisfactorio de aplicaciones del producto en otras entidades del MINBAS.

## **4. Capacitación**

- Capacitación total necesaria para asimilar todo el software.
- Capacitación necesaria para la configuración, explotación y mantenimiento de todos los equipos.

## **5. Capacidad de Integración**

- Integración al DCS.
- Arquitectura abierta que contará con la posibilidad de interconexión abierta con otros equipos bajo un protocolo de red Estándar TCP/IP y Profibus. Deberá proporcionar una solución para un Sistema Abierto donde pueda integrarse con el Sistema de Control de Inventario, Sistema de Medición de Tanques y Recipientes para Transferencia de Custodia, y todas las principales variables de instrumentación en un solo sistema, para asegurar que los parámetros de los tanques de almacenamiento sean mostrados en una estación local del Operador

## **6. Capacidad de Expansión**

- Las capacidades de el sistema para soportar ampliaciones como: la incorporación de puntos en la base de datos, incorporación de nuevos nodos (IRTU, PLC, estaciones, interfaces, equipos y sistemas), nuevos despliegues, nuevos protocolos, integración a diferentes aplicaciones, entre otros, que garanticen una ampliación de hasta un 150%.

## **7. Administración de activos**

- El Sistema contará con facilidades de autodiagnóstico que permitan detectar errores y fallas en sus dispositivos electrónicos, con el fin de proporcionar ayuda al personal de mantenimiento.

- Capacidad de configuración en forma remota.

### **8. Confiabilidad**

- La robustez y confiabilidad de la arquitectura están vinculadas a la disponibilidad del sistema, la cual deberá ser de un 99.999 %, ver ecuación 3.1.
- Redundancia en todas sus partes críticas, de tal manera que sean tolerantes a las fallas de sus componentes.
- Software ya probado en aplicaciones similares
- Protocolo determinístico, tolerante a fallas, que permita el tráfico de la información entre los diferentes dispositivos permitiendo tomar múltiples caminos para asegurar la llegada del mensaje al destino.
- Capacidad de desconexión o reemplazo de cualquier módulo sin interferir en el cableado de los módulos adyacentes.

### **9. Calidad de los Dispositivos.**

- Configuración modular.
- HMI.
- Operación desde el sistema SCADA.
- Configuración remota.
- Homogenización.

### **10. Tiempos de entrega y ejecución del proyecto.**

- Los Tiempos de entrega y ejecución del proyecto deben coincidir con las exigencias de la empresa.

Tabla 3.1. Resultado después de las encuestas.

Orden	Criterios	Puntuación
1	Calidad de los Dispositivos eléctricos	90
2	Garantías de Suministro/Servicio	70
3	Confiabilidad	60
4	Administración de activos	40

5	Capacidad de Integración	35
6	Capacidad de Expansión	25
7	Capacitación	20
8	Experiencia en el País con el producto (o sus componentes)/Calidad demostrada	15
9	Tiempos de entrega y ejecución del proyecto	10
10	Proyectos desarrollados en el mundo en esta área tecnológica en los últimos 15 años	5

### 3.3 Análisis económico

Un aspecto fundamental en el momento de realizar este trabajo es el análisis económico. En el mismo se tienen en cuenta los gastos por compra de productos, servicios prestados y de manera general la relación costo - beneficio de la implementación del sistema SCADA.

El costo de los elementos fundamentales relacionados con el sistema supervisor es el siguiente:

Servidor SCADA	€6 000
Herramienta para Trabajo Campo	€4 578
Estación de Trabajo del Operador	€3 500
Estación de Ingeniería	€1 500
Rack y Accesorios	€2 700
Analog Swith (Power Edge)	€1 300
Cables, patch cord y conectores (Cobre)	€3 500
Un Paquete de Accesorios y Herramientas	€6 600
Bandejas y Canalizaciones	€3 000

Fibra Óptica	€600
Ciente OPC para integración con el SCADA	€30 000
Suministro, montaje y puesta en marcha	€115 000

El costo total para lograr la puesta en marcha de este sistema con todo lo necesario (instrumentación de campo, hardware, software, servicio, capacitación, etc.) se encuentra alrededor de €1 200 000, pero por motivos de seguridad no se pueden revelar detalles exactos de todo el equipamiento así como de valor exacto de cada uno de ellos.

En cuanto a los beneficios con la implementación y puesta en marcha del sistema supervisorio se encuentran el aumento de la productividad, disminución del tiempo de operación de apertura y cierre de las válvulas, donde se sustituye el trabajo de 2 y 3 operadores (ver tablas 3.1 y 3.2), humanización del trabajo de los operadores, protección de las bombas, etc. A ello se suma el correcto llenado y vaciado de los tanques, lo cual no siempre es posible alcanzar con el sistema manual. Es válido aclarar que un llenado manual puede conllevar un desaprovechamiento de 20 a 30 cm del nivel máximo del tanque, y en el caso de un tanque de 20 000 m<sup>3</sup> de crudo, 1 mm de nivel equivale a 2,895 m<sup>3</sup> de petróleo.

En este momento para mantener el curso de las operaciones se cuenta con 13 obreros distribuidos por las diferentes áreas, las cuales son: productos intermedios, terminado y crudo, cada turno es de 12 horas.

Tabla 3.2. Cantidad de personal en un turno y salarios.

Cantidad de Obreros en un Turno	Calificador	Salario (en MN)
1	Jefe de Brigada	557
2	Operador A (Panelista y Terreno)	500
7	Operador B	482
3	Operador C	477

Tabla 3.3. Cantidad de personal en un turno y salarios.

Área de Trabajo	Operadores por área
-----------------	---------------------

---

Intermedio	2 operadores B y 1 C
Terminado	3 operadores B y 1 C
Crudo	2 operadores B y 1 C

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Se demuestra la importancia de realizar una rigurosa preparación y elaboración de la documentación técnica con las especificaciones derivadas de la aplicación en cuestión, como premisa fundamental para poder seleccionar un apropiado sistema SCADA.
- Con la correcta concepción de la matriz de selección, se crean las bases para considerar el proveedor adecuado, basado en criterios de selección debidamente fundamentados, donde ha resultado muy valiosa la información obtenida a partir de las diferentes consultas con los especialistas, expertos y responsables del área.
- El estudio realizado permitió diseñar la arquitectura del sistema SCADA acorde a la aplicación analizada.

### Recomendaciones

- Continuar con la especificación de los objetivos a lograr con la automatización de las casa de bombas y patio de tanques.
- Realizar un estudio de variantes para lograr los objetivos de automatización y determinar la que mas se adecúe a la maquinaria instalada en campo.
- Considerar el uso de aplicaciones especiales integradas en el SCADA, tales como: mesclado, planificación de operaciones, drenado automatico de agua en fondo de tanques, entre otras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABÚS, J. R. & Navarrete, D. G & Porras R P (2004). **Sistemas SCADA**. [Internet] Disponible en: <http://bibliotecnica.upc.es/bustia/arxiu/40202.pdf>

CASTELLANOS, E. I. (2008) **Sistemas de Automatización**, Santa Clara, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. [en línea].

CHACÓN, D., DIJORT, O. & CASTRILLO, J. (2001) **Supervisión y Control de Procesos**. [Internet] (EUPVG-UPC).35. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/ocw/diposit/material/23654/23654.pdf>

FERNANDO. D. & ALBERTO.A. (2009) **Diseño e Implementación de una Sistema SCADA en el Laboratorio de Instrumentación**. [Internet] Disponible en: [http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/1409/5/T11365 CAP 20 I.pdf](http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/1409/5/T11365%20CAP%20I.pdf)

DÍAZ, H. M. (2009) **SISTEMAS SCADA**. [Internet] . Disponible en: <http://www.galeon.com/hamd/pdf/scada.pdf>

HERRERA,G.L. (2009) **Desarrollo del SCADA para la Máquina Etiquetadora de la Ronera Central empleando el Software de Desarrollo Movicon X2**, Santa Clara, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.

MARCHEGIANI, A. (2004) **Bombas Centrifugas**. [Internet]. Universidad Nacional Del Comahue. Disponible en:

<http://fain.uncoma.edu.ar/La.M.Hi/textos/Maquinas/20hidraulicas/BOMBAS.PDF>

MILLO, O. A. (2009) [Página Web]. "**Procedimiento multicriterio basado en herramientas de toma de decisiones para la selección de proveedores**". Disponible en:

<http://www.gestiopolis.com/administracion-estrategia/procedimiento-multicriterio-para-toma-de-decisiones.htm>

MONTERO, D., BARRANTES, D. B. & QUIRÓS, J. M. (2004) "**Introducción a los Sistemas de control supervisor y de adquisición de datos (SCADA)**". [Internet]

. Disponible en:

[http://www.infopl.net/Documentacion/Docu\\_SCADA/infpPLC\\_net\\_Introduccion](http://www.infopl.net/Documentacion/Docu_SCADA/infpPLC_net_Introduccion)

[Sistemas\\_SCADA.pdf](#). [Consultado:]

PARADA, O. (2001). [Página Web]. **Desarrollo y aplicación de un modelo operacional para la gestión de aprovisionamiento hotelera**. Universidad de Oriente, Santiago

de Cuba, Cuba. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos11/artic/artic.shtml>.

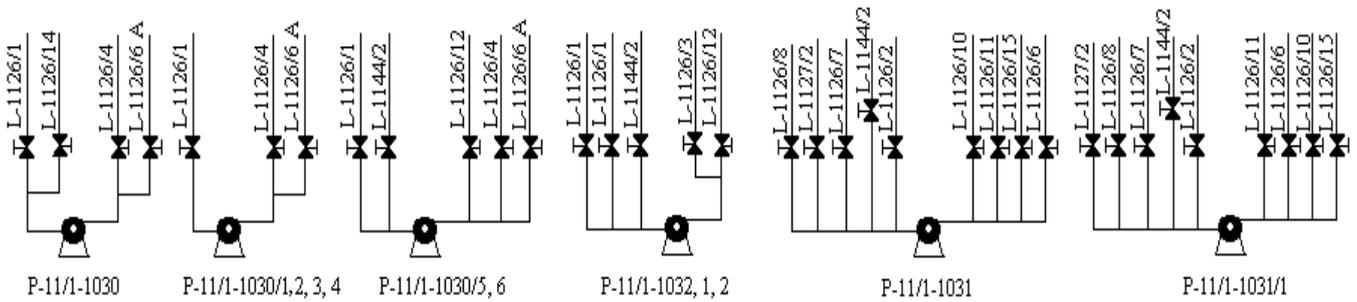
PEÑA, J. (2010) "**Especificación Técnica Para El SCADA De MCP**". Santa Clara, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.

TIVENCA. (2007): "**Narrativas de Control Almacenamiento – Tanques**". Cienfuegos, CUBA, Refinería de Petróleo "Camilo Cienfuegos".

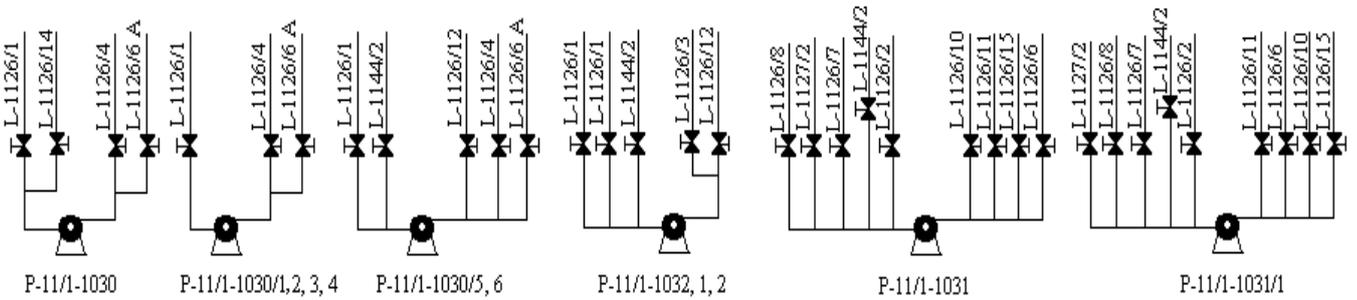
ANEXOS

**Anexo I Diagrama de algunas de las líneas de M.C.P.**

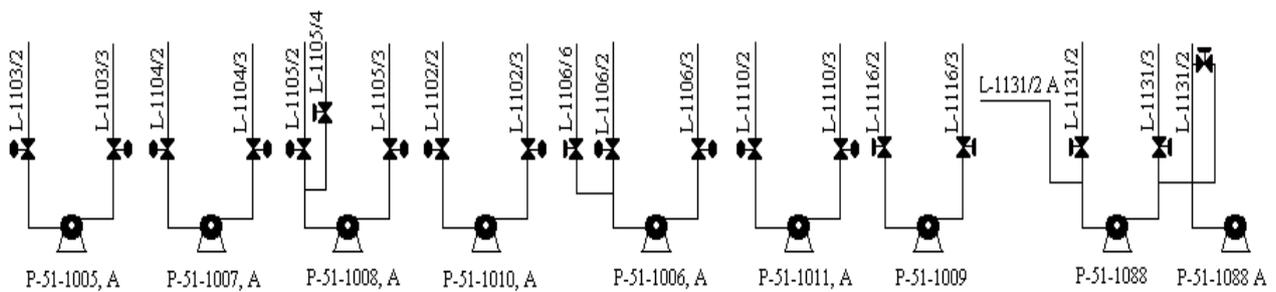
Estación de Bombeo TIT 11/1



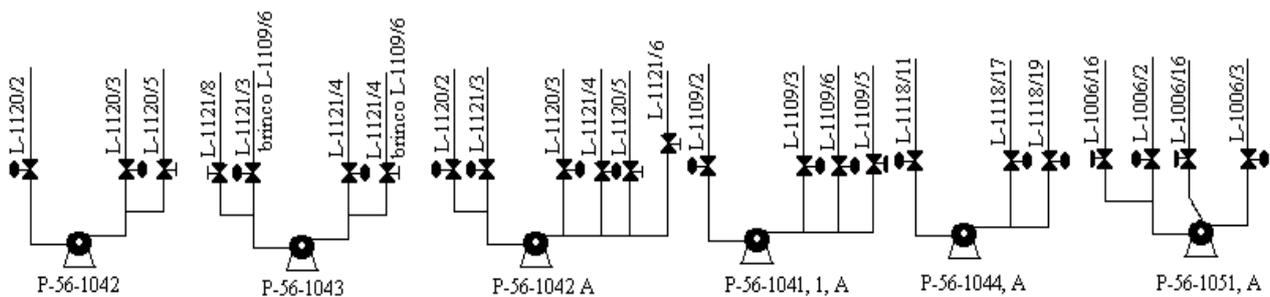
Estación de Bombeo TIT 11/1



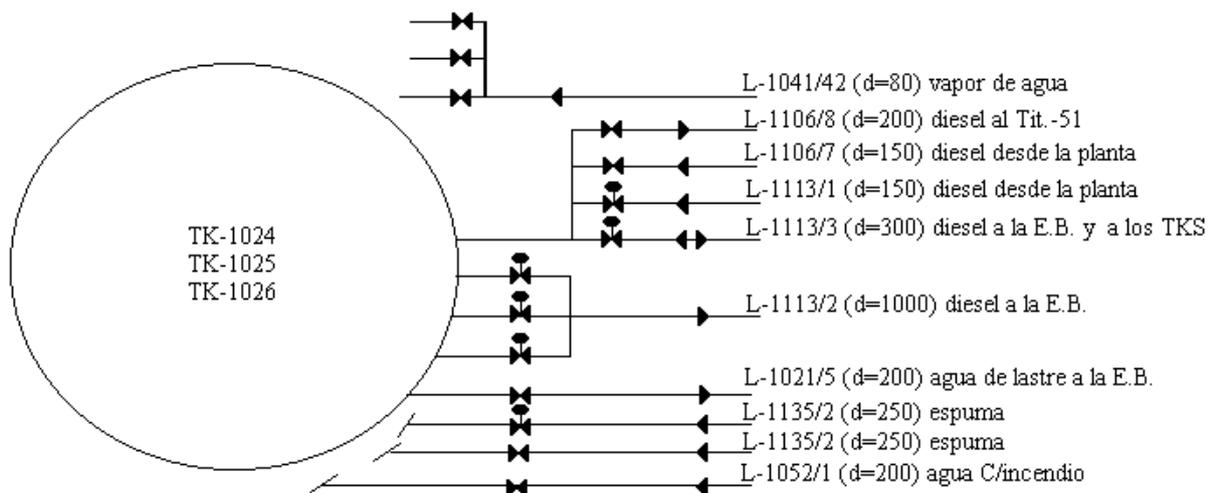
## Estación de Bombeo TIT 51



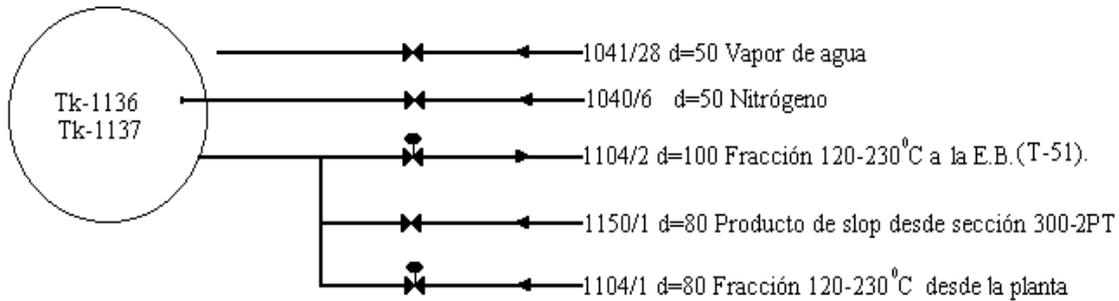
## Estación de Bombeo TIT 56



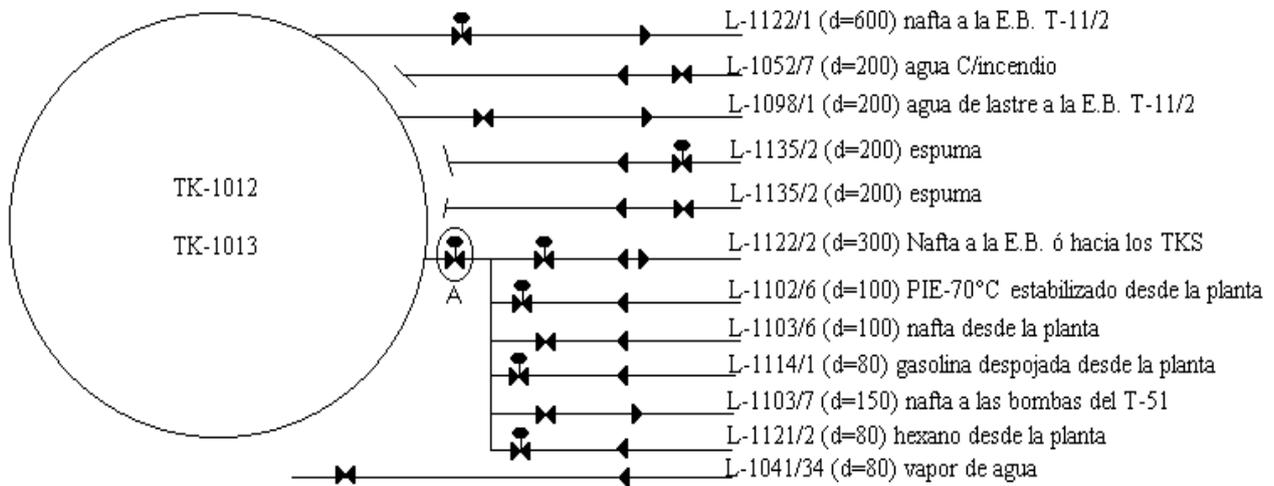
## Tanques de Diesel Comercial TIT 26



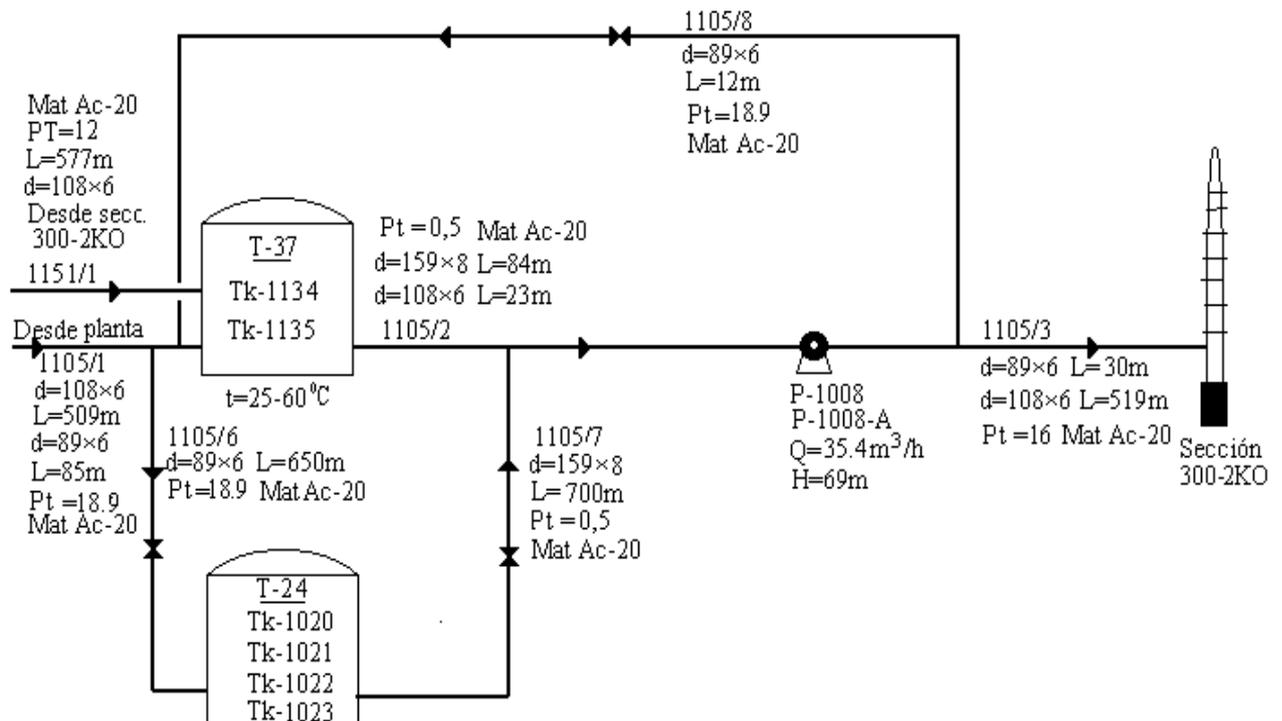
Tanques de Fracción 120-230 °C TIT 37



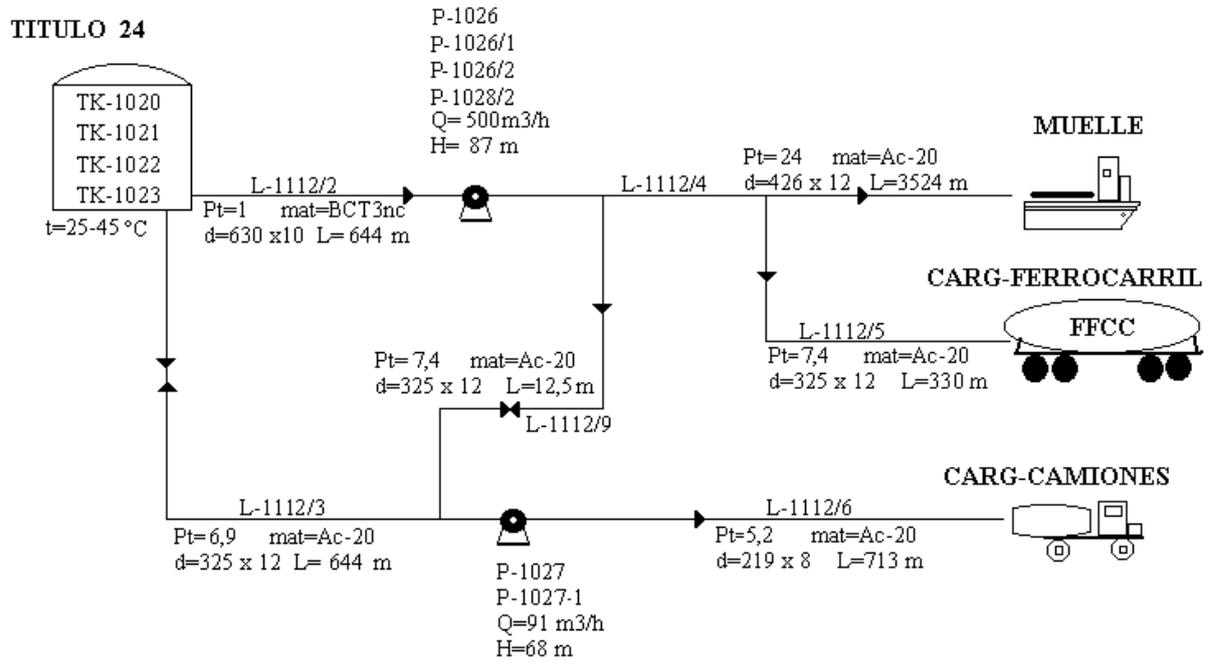
Tanques de Nafta Comercial TIT 23



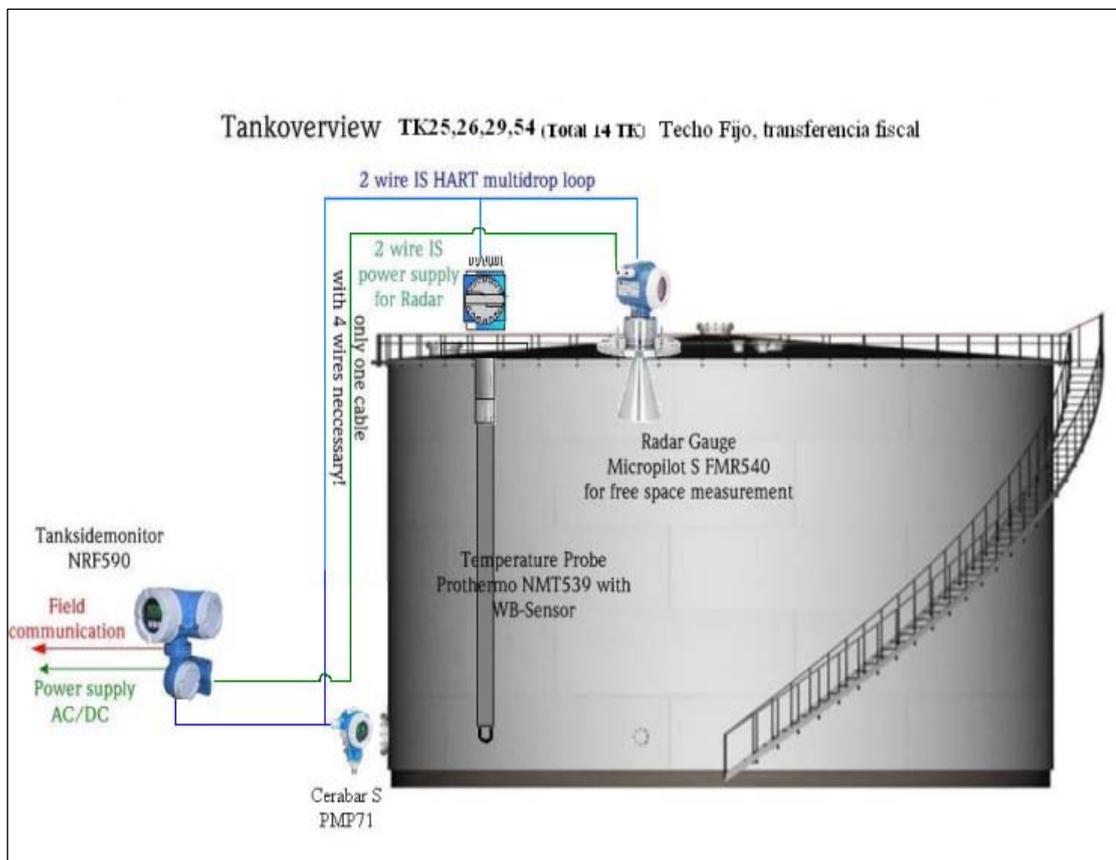
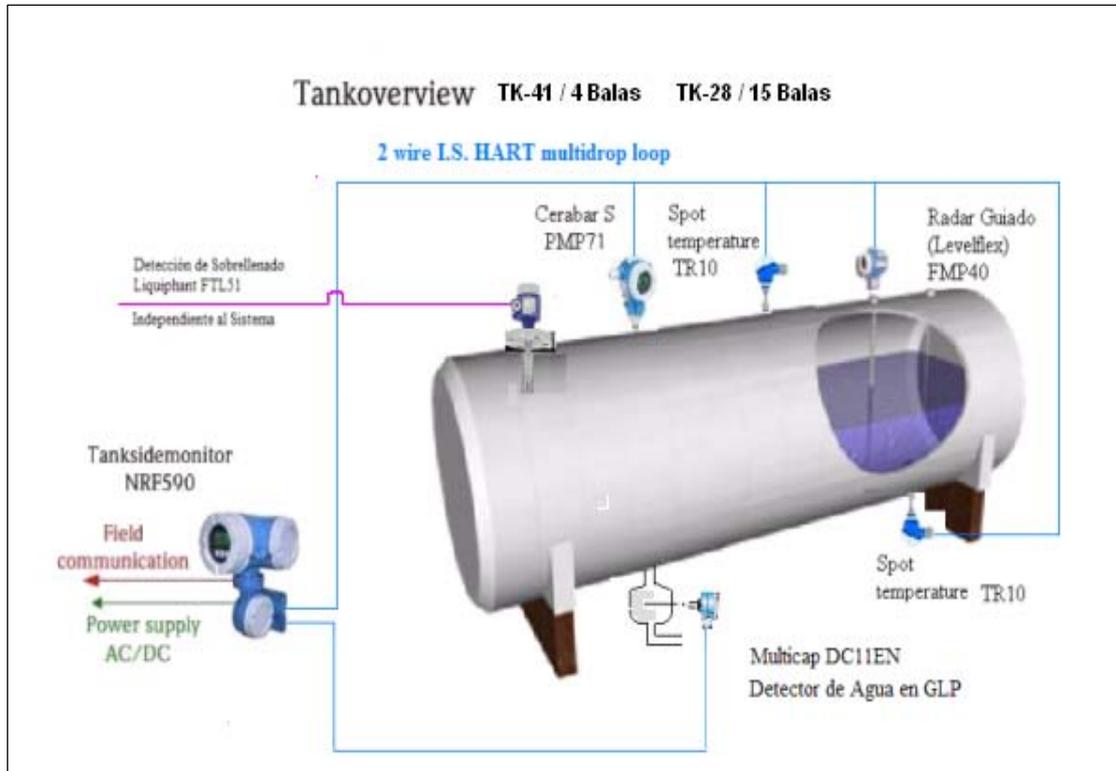
Esquema de Líneas Fracción 120-270 °C

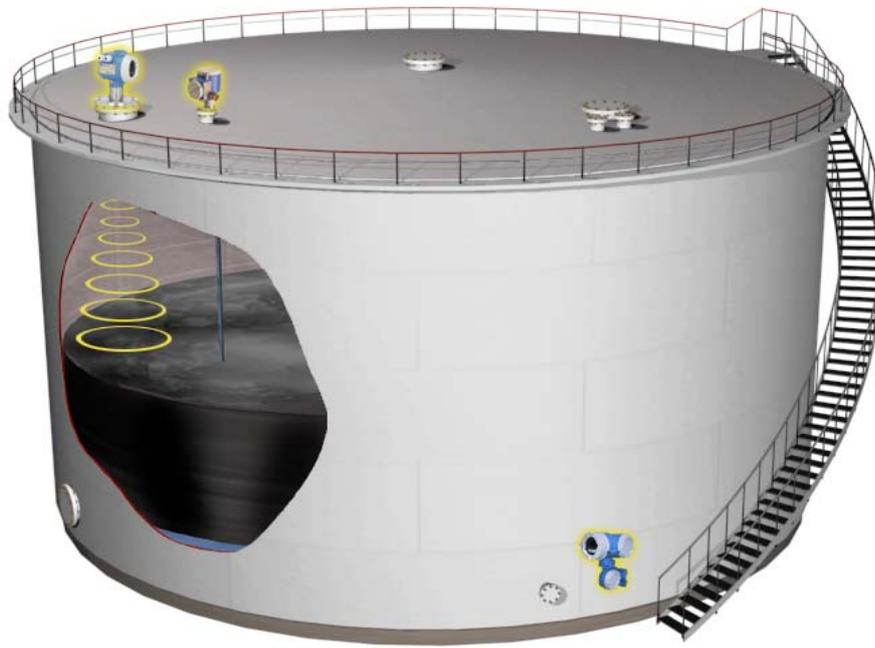


## Esquema de Líneas de Kerosene Comercial



Anexo II Sistema de Medición en Tanques





**Medidores Tipo Radar (Nivel)**



**Medidor Servo modelo Proservo (medidor de nivel, densidad y agua en fondo)**



**Sonda de temperatura RT -10**



**Prothermo (Temperatura Promedio) con sensor de agua en fondo**



**Detección de Sobrellenado Liquiphant**



**Cerabar (Transmisores de presión para cálculo de densidad y masa)**