



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

**SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE
DATOS (SCADA) Y SU UTILIZACIÓN EN EL MERCADO
ENERGÉTICO GUATEMALTECO**

Juan Paulo Vaides Guillermo

Asesorado por el Ing. Jorge Wilfredo Vaides Guillermo

Guatemala, junio de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE
DATOS (SCADA) Y SU UTILIZACIÓN EN EL MERCADO
ENERGÉTICO GUATEMALTECO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

JUAN PAULO VAIDES GUILLERMO

ASESORADO POR EL ING. JORGE W. VAIDES GUILLERMO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS

GUATEMALA, JUNIO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De Leon Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

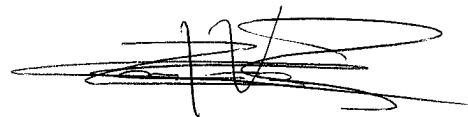
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Virginia Victoria Tala Ayerdi
EXAMINADOR	Ing. Edgar Eduardo Santos Sutuj
EXAMINADOR	Ing. Ludwin Federico Altán Sac
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA) Y SU UTILIZACIÓN EN EL MERCADO ENERGÉTICO GUATEMALTECO,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Ciencias y Sistemas, en julio de 2008.



Juan Paulo Vaidés Guillermo

Guatemala, lunes 16 de Marzo de 2009

Ingeniero
Carlos Azurdía
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

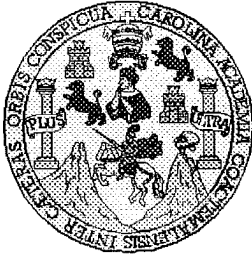
Estimado Ing. Azurdia:

Por este medio me dirijo a usted deseando éxitos en sus labores diarias. Quiero aprovechar para agradecer su aportación a la continuidad del conocimiento y su vez, hacer constar que el trabajo de graduación con el tema SISTEMA DE SUPERVISION, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA) Y SU UTILIZACIÓN EN EL MERCADO ENERGÉTICO GUATEMALTECO del estudiante Juan Paulo Vaides Guillermo con carné 2000-10678, incorpora los avances que existen a la fecha de la materia en cuestión.

Sin otro particular me despido de usted, muy atentamente.



Jorge Wilfredo Vaides Guillermo
Ingeniero Electricista
Colegiado 5920



Universidad San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

Guatemala, 21 de Abril de 2009

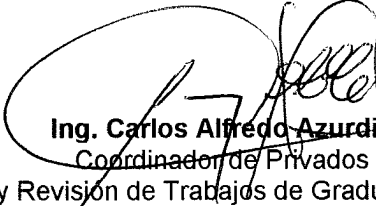
Ingeniero
Marlon Antonio Pérez Turk
Director de la Escuela de Ingeniería
En Ciencias y Sistemas

Respetable Ingeniero Pérez:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación del estudiante **JUAN PAULO VAIDES GUILLERMO**, titulado: **“SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA) Y SU UTILIZACIÓN EN EL MERCADO ENERGÉTICO GUATEMALTECO”**, y a mi criterio el mismo cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo, según el protocolo.

Al agradecer su atención a la presente, aprovecho la oportunidad para suscribirme,

Atentamente,


Ing. Carlos Alfredo Azurdia
Coordinador de Privados
y Revisión de Trabajos de Graduación



E
S
C
U
L
A

D
E

C
I
E
N
C
I
A
S

Y

S
I
S
T
E
M
A
S

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

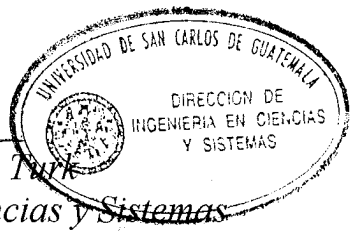


FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIENCIAS Y SISTEMAS
TEL: 24767644

*El Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor con el visto bueno del revisor y del Licenciado en Letras, de trabajo de graduación titulado **“SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA) Y SU UTILIZACIÓN EN EL MERCADO ENERGÉTICO GUATEMALTECO”**, presentado por el estudiante **JUAN PAULO VAIDES GUILLERMO**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.*

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. ~~Marlon Antonio Pérez Turk~~
Director, Escuela de Ingeniería Ciencias y Sistemas



Guatemala, 05 de junio 2009



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, al trabajo de graduación titulado: **SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA) Y SU UTILIZACIÓN EN EL MERCADO ENERGÉTICO GUATEMALTECO**, presentado por el estudiante universitario **Juan Paulo Vaides Guillermo**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, stylized handwritten signature in black ink, consisting of a large loop at the top and several vertical strokes below.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, junio de 2009

/cc

AGRADECIMIENTOS A:

- DIOS** Por darme la bendición de la vida y cumplir esta meta.
- MIS PADRES** Izabel Cristina y Jorge Vinicio, por su esfuerzo, dedicación y apoyo a lo largo de mi vida.
- MIS HERMANOS** Coky, Donald y Martita por su cariño y apoyo.
- MIS ABUELOS** Jorge (D.E.P.), María Marta (D.E.P), Heriberto “Papa Beto” (D.E.P.) y Enma “Mama Ema” (D.E.P.).
- MIS FAMILIARES** Familias Vaides y Guillermo, por los momentos alegres que hemos compartido.
- MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS** Por compartir los momentos de desvelos, estudios, festejos y por haberme proporcionado su amistad y apoyo.

INDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCION.....	XII
1. CONTROL DE SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS	
1.1 Que es SCADA?.....	1
1.2 Definición de SCADA.....	1
1.3 Funciones del sistema SCADA.....	2
1.4 Necesidades a controlar por un sistema SCADA....	2
1.5 Aplicaciones en la Industria.....	3
1.6 Breve historia de SCADA.....	5
2. HARDWARE	
2.1 Arquitectura Básica del sistema.....	9
2.1.1 Elementos de un sistema SCADA.....	9
2.1.2 Sistema de Dos – Vías.....	13
2.2 Estructuras del sistema.....	13
2.2.1 Subsistemas.....	14
2.2.2 Clases de sistemas.....	15
2.2.2.1 Clase 1 – Sistema no redundante.....	16
2.2.2.2 Clase 2 – Sistemas Redundantes.....	19
2.2.2.3 Clase 3 – Sistema central multi-control.....	21

2.3	Comunicación Hombre-Máquina.....	23
	2.3.1 Alarmas.....	24
	2.3.2 Reportes.....	29
	2.3.3 Interface de operador paralelo.....	30
2.4	Realizaciones Técnicas.....	30
	2.4.1 Las comunicaciones hacen posible a SCADA.....	31
	2.4.2 Método de comunicación serial para largas distancias.....	31
	2.4.3 Componentes de los sistemas de comunicación.....	32
	2.4.4 Protocolo.....	34
	2.4.5 Síncrono o Asíncrono?.....	37
	2.4.6 Cable telefónico o Radio?.....	37
	2.4.7 Comunicaciones Satelitales.....	41
2.5	Seguridad.....	42
	2.5.1 Sistema de seguridad.....	45

3 SOFTWARE

3.1	Elementos del software de un sistema SCADA.....	48
3.2	Funciones de Supervisión y Control.....	53
	3.2.1 Pantallas para la supervisión y control.....	55
3.3	Desempeño y consideraciones de fiabilidad.....	65
	3.3.1 Sistemas operativos en tiempo real.....	67
	3.3.2 Tuning del software del sistema.....	67
	3.3.3 Mejorando el funcionamiento.....	68
	3.3.3.1 Longitud de palabras mas grande.....	68
	3.3.3.2 Pipelining.....	69

3.3.3.3	Memoria Cache.....	69
3.3.3.4	Intercalación de memoria.....	70
3.3.3.5	Hardware para punto flotante....	71
3.3.3.6	Arreglo de procesadores.....	71
3.3.3.7	Base de Datos.....	72
3.3.4	Fiabilidad del software.....	74
4	IMPLICACIONES ECONOMICAS DE IMPLEMENTAR SCADA	
4.1	Costos versus Beneficios.....	75
4.1.1	Costos de Capital.....	78
4.1.2	Costos de Entrenamiento y Mantenimiento.....	79
4.1.3	Costos de Operación de SCADA.....	81
4.1.4	Beneficio: Reducción en los costos de Capital.....	82
4.1.5	Beneficio: Reducción en los costos de operaciones de procesos.....	82
4.1.6	Beneficio: Eficiencia y facilidad mejorada....	83
4.1.7	Implicaciones de los impuestos.....	84
5	SISTEMA SCADA UTILIZADO EN AMM	
5.1	Función / Rol.....	85
5.1.1	Capacidad.....	86
5.1.2	Adquisición de datos.....	86
5.1.3	Comunicaciones con las RTUs.....	87
5.1.4	Comunicación con otros centros de control....	88
5.1.5	Errores de telemetría de RTUs.....	88
5.1.6	Tipos de información.....	89
5.1.7	Sincronización horaria.....	90

5.1.8	Mandos.....	90
5.1.9	Supervisión de control.....	90
5.1.10	Procesamiento de valores de medida.....	91
5.1.11	Procesamiento de valores calculados.....	92
5.1.12	Eventos a registrar.....	93
5.1.13	Funciones principales del procesamiento de alarmas.....	93
5.1.14	Funciones accesorias del procesamiento de alarmas.....	94
5.1.15	Secuencia de eventos.....	96
5.1.16	Interfaz Hombre – Máquina.....	96
5.1.17	Funciones de las estaciones de trabajo ET.....	97
5.2	Arquitectura del sistema.....	98
5.2.1	Servidores de SCADA.....	104
5.2.2	Servidores de comunicación.....	104
5.2.3	Consolas de operación y adicionales.....	104
5.3	Mejoras en el mercado energético nacional gracias a la implementación de SCADA.....	105
	CONCLUSIONES.....	109
	RECOMENDACIONES.....	111
	BIBLIOGRAFIA.....	113
	ANEXOS.....	115

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Elementos de un sistema SCADA	10
2	Remote Terminal Unit	12
3	Subsistemas	14
4	Sistema no redundante	16
5	Diferencia entre las configuraciones de los sistemas no redundantes	18
6	Sistemas Redundantes	20
7	Sistema central multi-control	23
8	Chequeo por nuevas alarmas	25
9	Sistema simple de comunicación	32
10	Equipamiento con habilidad de comunicación	33
11	Modelo del sistema de interconexión abierta (OSI)	34
12	Disposición de un mensaje enviado basado en el protocolo IEEE C37.10	36
13	Sistema Simplex	39
14	Sistema Duplex o Full Duplex	40
15	Sistema Half Duplex	41
16	Posibles problemas del sistema	46
17	Elementos del software SCADA	50
18	Estación de bombeo domiciliar	51
19	Cuarto de Mezclas	52
20	Temperatura e iluminación en estación	52
21	Componentes de pantalla grafica	57
22	Pantallas para cambio de valor	58

23	Ejemplo de Editor Grafico	59
24	Pantallas de detalles de variables	60
25	Pantalla de variables	60
26	Pantalla general de alarmas	61
27	Pantalla de trending	62
28	Pantalla de reportes	63
29	Mosaico de Pantallas	64
30	Pipelining	69
31	Principio de la memoria cache	70
32	Jerarquía lógica de la estructura de la base de datos	73
33	Flujo de información entre el CDC y elementos externos	101
34	Configuración de red de área local	102

TABLAS

I	Cuatro posibles alarmas para una plataforma de producción	26
II	Prioridad de alarmas	27
III	Sistema con cinco clases de control de operaciones	43
IV	Ejemplos requerimientos	66
V	Capitales SCADA	78
VI	Reducción de costos	82
VII	Variación de valor total de RRO (Ahorro)	107
VIII	Precios de la energía	107

GLOSARIO

ACE	Area Control Error
ADC	Analog to digital converter
AGC	Automatic Generation Control; Control Automático de Generación
AMM	Administrador del Mercado Mayorista
AA	Actividad alta
AN	Actividad normal
AP	Actividad pico
BIT	Binary digit
CDC	Centro de Despacho de Carga
CENADO	Centro Nacional de Despacho y Operación
CRC	Cyclic Redundancy Code
DCE	Data Communication Equipments
DNP	Distributed Network Protocol
DTE	Data Terminal Equipments
EGEE	Empresa de Generación de Energía Eléctrica
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima
EOR	Ente Operador Regional
ET	Estación de Trabajo
ETCEE	Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica
GPS	Global Positioning System
HIS	Sistema de Información Histórica
IEC	International Electric Commission
IEEE	Institute of Electric and Electronic Engineers

INDE	Instituto Nacional de Electrificación
ISO	International Standardization Organization
LAN	Local Area Network
LSB	Least significant bit
MODEM	Modulador – Demodulador de señales
MSB	Most significant bit
MTBF	Mean Time Before Failure
MTU	Master terminal unit
OSI	Open Systems Interconnection
POSIX	Portable Operating System for Computer Environments
RRO	Reserva Rodante Operativa
RTU	Remote Terminal unit
SCADA	Supervisory, Control and Data Acquisition; Supervisión, Control y Adquisición de Datos
SITR	Sistema Informático de Tiempo Real
SNI	Sistema Nacional Interconectado
SNMP	Simple Network Management Protocol
SOE	Sequence Of Events
TASE.2	Telecontrol Application Service Element 2
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TRELEC	Transportista Eléctrica de Centroamérica S. A.
UIT-T	Unión Internacional de Telecomunicaciones – Comité de Telecomunicaciones
UPS	Uninterruptible power supply (Fuente de Poder Ininterrumpible)
VDU	Video display unit.

OBJETIVOS

General

Desarrollar conocimiento del sistema SCADA que sirva de base para desarrollar sistemas informáticos que nos ayuden a hacer un mejor uso de nuestros recursos.

Específicos

1. Desarrollar un informe explicativo sobre la arquitectura y componentes del sistema SCADA.
2. Ejemplificar el uso del sistema SCADA con el utilizado actualmente para el control, supervisión y adquisición de datos en el centro de despacho de carga del Administrador del Mercado Mayorista (AMM).

RESUMEN

SCADA (Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un sistema con componentes de hardware y software, el cual se utiliza en el control de recursos a explotar en las grandes industrias, como lo son: petroleras, sistemas de generación eléctrica, gasífera, etc., permitiéndonos desde un punto centralizado, definido como MTU (Master Terminal Unit), supervisar, controlar y adquirir datos de los puntos distantes geofísicamente, definidos como RTU (Remote Terminal Unit), esto se realiza aplicando y aprovechando las nuevas tecnologías, sobre todo las de comunicaciones.

Con la aplicación de la teoría de sistemas, se llegan a conformar sistemas con diferentes complejidades, según las necesidades de control que tenga la industria, entre estos se encuentran sistemas redundantes, sistemas multicontrol, sistemas dúplex, los cuales compondrán al SCADA a utilizar.

El operador o persona a utilizar el SCADA, como rol principal se encuentra la supervisión de las alarmas y prioridad de estas que el sistema genera como función de supervisión, y así tomar decisiones ejecutando tareas de control a través de las opciones que el sistema le proporciona.

La industria eléctrica en Guatemala, hace utilización de SCADA como sistema utilizado para la supervisión y control de la generación eléctrica nacional en tiempo real, al cual se le llama Sistema Nacional Interconectado (SIN), se supervisa las Interconexiones Internacionales que hay con los países vecinos, así como la integración de servicios complementarios necesarios para mantener el balance entre generación/demanda y para preservar la seguridad y continuidad del servicio, estas funciones son realizadas por AMM

(Administración del Mercado Mayorista), de esta manera se mejora el mercado energético nacional.

INTRODUCCION

Ante la necesidad de la optimización de recursos limitados que son básicos para cualquier ciudad, como lo son el agua, el gas, el petróleo o la electricidad, se da la necesidad de tener un sistema que pueda controlar el estado de los recursos en tiempo real, controlar el producto o recurso a ser consumido, distribuido o comercializado para la población, por lo que se requiere que el sistema tenga las características de alta disponibilidad, fiabilidad, escalabilidad, redundancia, es decir todas las características que un sistema adquiere por las funciones críticas que controla, por lo que se es necesario conocer las bases, características de los componentes y arquitectura general para poder desarrollar tales sistemas en función de poder administrar mejor los recursos que son de alta prioridad para el desarrollo sostenible de la población.

De esta forma nace la necesidad de ampliar el conocimiento sobre la estructura y componentes de los sistemas de supervisión y adquisición de datos en los centros de control de un recurso primordial en la población que es la energía eléctrica por medio de un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Este sistema surgió cuando las necesidades en la industria se fueron incrementando y al mismo tiempo solventando con el desarrollo de la tecnología. La aplicación de la tecnología en el control del clima y en el control de los trenes en décadas pasadas, fueron el inicio que llevo a la creación del sistema para la supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) en lugares remotos donde el acceso al sitio era demasiado difícil y se requería saber el estado inmediato de algún equipo o recurso, siendo esta crítica, el desarrollo e integración de las tecnologías del computador y las comunicaciones vinieron a solucionar esta necesidad y a reducir los costos de operación de la misma,

naciendo así SCADA como sistema a solventar estos problemas, principalmente en las industrias como el petróleo, gas y en la generación eléctrica.

Varios componentes de hardware y software componen al sistema SCADA, formando la integración de los mismos, subsistemas que se van adecuando según las necesidades y disposiciones que se tengan para conformar al sistema SCADA, básicamente aplicando las tecnologías de las comunicaciones, el computador y la interfaz hombre-maquina. De este modo será desarrollada la presentación de los temas, culminando con la ejemplificación de un sistema SCADA en la industria eléctrica guatemalteca y describiendo los beneficios que su implementación tuvo.

1. SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA)

1.1 ¿Que es SCADA?

SCADA es la tecnología que permite a un usuario coleccionar datos desde una o más instalaciones distantes y/o enviar instrucciones de control limitadas a estas instalaciones. Un sistema SCADA permite al operador hacer cambios a controladores de procesos a distancia, abrir o cerrar válvulas o switches, monitorear alarmas y obtener información de mediciones desde una estación central a un proceso extensamente distribuido, como es en los campos de petróleo o gas, sistemas de tuberías o complejos generadores hidroeléctricos. Cuando las dimensiones de los procesos se vuelven muy largos (cientos o miles de kilómetros de una terminal a la siguiente) uno puede apreciar las ventajas que SCADA ofrece en términos de reducir el costo de visitas rutinarias para monitorear instalaciones operacionales. El valor de estas ventajas crecerá siempre y cuando si las instalaciones están muy remotas y requieran de un esfuerzo extremo para ser visitadas.

Algunas empresas construyen paquetes de software llamados SCADA, que a menudo son satisfactorios para actuar como partes de un sistema SCADA, pero estos no son un sistema SCADA debido a que carecen de accesos de comunicación y otros equipos necesarios.

1.2 Definición de SCADA

SCADA es la abreviatura formada por la primera letra de los términos "supervisory, control and data acquisition".

1.3 Funciones del sistema SCADA

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

- Recabar, almacenar y mostrar información, en forma continua y confiable, correspondiente a la señalización de campo: estados de dispositivos, mediciones, alarmas, etc.
- Ejecutar acciones de control iniciadas por el operador, tales como: abrir o cerrar válvulas, arrancar o parar bombas etc.
- Alertar al operador de 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). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.
- Aplicaciones en general, basadas en la información obtenida por el sistema, tales como: reportes, gráficos de tendencia, historia de variables, cálculos, predicciones, detección de fugas, etc.

1.4 Necesidades a controlar por un sistema SCADA

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

- El número de variables del proceso que se necesita monitorear es alto.
- El proceso está geográficamente distribuido. Esta condición no es limitativa, ya que puede instalarse un SCADA para la supervisión y control de un proceso concentrado en una localidad.

- La información del proceso se necesita en el momento en que se producen los cambios en el mismo, o en otras palabras, la información se requiere 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 de 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, controladores a lazo cerrado o una combinación de ellos.

1.5 Aplicaciones en la Industria

La tecnología SCADA es mejor aplicada a procesos que son extendidos a grandes áreas geográficamente, que sean relativamente simples de controlar, monitorear y requieran frecuencia regular o intervención inmediata. Los siguientes ejemplos de procesos nos ayudan a visualizar el rango de la aplicación en que SCADA se recomienda:

- Grupos de pequeñas estaciones generadoras hidroeléctricas que son prendidas o apagadas en respuesta a la demanda del consumo, que se encuentren usualmente localizados en lugares remotos, estos pueden ser controlados abriendo o cerrando válvulas a la turbina, deben de ser monitoreadas continuamente y deben de responder relativamente rápido a demandas en la red eléctrica.

- Instalaciones de producción de petróleo o gas (incluyendo posos, sistemas de excavación, equipos de mediciones de fluidos y bombas) que usualmente se extienden sobre grandes áreas, requiriendo relativamente simples controles, como un apagado y encendido de motor, necesidades de reunir información medida regularmente y responder rápidamente a condiciones en el resto del campo.
- Tuberías de gas, petróleo, químicos o agua, siendo controladas abriendo o cerrando válvulas y empezando o deteniendo bombas, debe de ser capaz de responder rápidamente a condiciones establecidas, a escapes peligrosos o materiales sensibles al ambiente.
- Sistemas de transmisiones eléctricas debiendo de cubrir miles de kilómetros cuadrados, pueden ser controlados abriendo o cerrando switches y deben de responder sobre todo inmediatamente para cargar cambios en las líneas.
- Sistemas de irrigación a menudo cubren cientos de millas cuadradas, pueden ser controladas abriendo y cerrando simples válvulas y requieren la reunión de valores medibles del agua para ser surtida a la población.

SCADA ha tenido exitosas instalaciones en cada uno de estos tipos de procesos tan bien como en muchos otros. La complejidad del control remoto que es posible con SCADA ha crecido con la maduración que ha tenido la tecnología.

La colección de señales típicas de localizaciones remotas incluye alarmas, indicadores de estado, valores análogos, y valores medibles totalizados. Similarmente, señales enviadas desde la localización central SCADA a los sitios remotos son usualmente limitadas a bits binarios discretos o valores análogos

diseccionados a un dispositivo del proceso. Un ejemplo de un cambio producido por un bit binario podría ser una instrucción para ordenar la detención de un motor. Un ejemplo de un valor análogo podría ser una instrucción para cambiar un controlador de una válvula a trabajar a un 70 por 100. Con estos ejemplos de tipos de señales, con un poco de imaginación muchos cambios a un control pueden ser efectuados.

1.6 Breve historia de SCADA

En las dos terceras partes del siglo veinte el desarrollo de la ingeniería en la aviación y cohetes así como la investigación del clima y otros parámetros geofísicos requirieron que simples datos fueran obtenidos por equipos localizados donde estos eran difíciles o imposibles de poder ser observados por alguna persona.

Durante el transcurso del tiempo, la tecnología fue aplicada a predecir el clima, los científicos comprendieron que requerían de grandes masas de datos para poder hacer pronósticos mas exactos. Pero solo una pequeña cantidad de esta información era disponible desde donde las personas generalmente se localizaban. Oficinas postales remotas, faros, barcos, y estaciones meteorológicas especialmente establecidas, podían ser acudidos y transmitir los datos a una posición central, por teléfono, el telégrafo, o la radio. De esta manera para obtener un mejor control del clima los científicos pensaron en desarrollar los perfiles de la información meteorológica de la atmósfera pudiendo ser esta mas provechosa, pequeños globos fue la solución, pequeños instrumentos podrían ser montados a los globos para medir los paramentos de interés y la información requerida,

La respuesta a este requerimiento emerge de los métodos de comunicación que eran usados en otra industria, aliviando esta preocupación. Por algún tiempo, el

sistema de rieles utilizaba comunicaciones de cable para monitorear la posición de las ruedas y el estado de los switches que controlaban la pista donde los trenes viajaban. A distancias muy largas, se requerían repetidores. Este sistema de comunicación llamada Telemetría permitía a una oficina central monitorear cosas que estaban pasando en locaciones remotas y permitía controlar la eficiencia y seguridad en la programación y calendarización de los trenes.

Al mismo tiempo surgió la necesidad de mantener las comunicaciones con facilidades de movimiento, la radio tecnología fue avanzando. La tecnología de la radio telemetría estaba entonces naciendo, se fue mejorando la fiabilidad del sistema de radio, incrementando la densidad de los datos que podían ser transmitidos, desarrollándose la detección de errores hasta código de corrección de errores y la miniaturización del equipo. Pero la radio telemetría continuo durante bastante tiempo como un sistema de una vía, los datos eran obtenidos de un lugar remoto y transmitidos a una estación central, las señales de radio no fueron enviadas de la estación central al sitio remoto.

En ese momento los ingenieros que trabajaban con telemetría alambrica divisaron y desarrollaron el concepto de comunicaciones de dos vías, que permitió a los switches de los trenes no solo ser monitoreados desde una distancia sino también ser ajustados. Así fue como las industrias de gas, aceite, petróleo y electricidad respondieron al mismo problema con la misma solución, ellos investigaron formas de monitorear remotamente y controlar funciones simples usando cables y señales eléctricas para reducir los costos operativos.

En el inicio de los 1960s, el monitoreo remoto y el control supervisado de los procesos de varias industrias era una tecnología que se desarrollo.

Los científicos e ingenieros reconocieron las mejoras hechas en la radio tecnología para la telemetría y aplicadas a la nueva comunicación de dos vías de operaciones remotas.

A menudo una combinación de cable y radio era el más efectivo método para obtener y distribuir señales. Con las mejoras de la radio, los costos de la instalación bajaron. A mediados de los 1970s la radio se transformo en el medio de comunicación a escoger por el más recién instalado sistema telemétrico de dos vías para instalaciones de posiciones fijas.

Al mismo tiempo la radio se estaba moviendo ascendentemente y otra tecnología electrónica se estaba desarrollando. Las computadoras digitales hicieron su debut en el monitoreo remoto y supervisión de control de sistemas en los tempranos 1960s. El incremento a la flexibilidad fue el ofrecimiento más atractivo a los diseñadores de estos sistemas. La implementación entera de la compañía se facilito contenida en una computadora que podía localizarse a cientos de millas de la operación.

Fue al principio de los años 1970s cuando el termino SCADA fue acuñado y la palabra telemetría comenzó a caer de uso describiendo los sistemas de dos vías de comunicación. La radio mejoró durante los 1970s que fueron reemplazando los sistemas de cable existentes. La estabilidad del control de la radio frecuencia se incremento, requiriendo menos mantenimiento.

La tecnología SCADA maduro lentamente durante el resto de los años de 1970. Mejoras en el software resultaron en mejores interfaces hombre-maquina. Escritura de reportes fueron desarrolladas para proveer información cuando esta fuera requerida en cualquier momento. Los sistemas crecieron, como fue el caso con la mayoría de las tecnologías de las industrias, el desarrollo del

poder de las mini computadoras tuvieron un profundo efecto en el desarrollo de SCADA. Talvez el efecto mas profundo, fue la mini computadora, que es usualmente la base del ordenador o terminal master (MTU), volviéndose tan barato que este ya no fue más necesitado para poder centralizar el sistema. La centralización podría hacerse todavía donde se realiza la operación sensitiva, pero ahora la eficacia operacional más que el coste de hardware podría determinar donde el MTU es localizado. Las industrias eléctricas retienen su filosofía centralizada, las compañías de producción de gas y petróleo apuestan mas a un modo descentralizado para poner el control de los campos en las manos de los especialistas operacionales.

Como proliferación de los sistemas, el espectro de radio se hizo mas utilizado, y las frecuencias se hicieron difíciles de obtener. Como esto estaba pasando, otros métodos de radio comunicación se fueron desarrollando, incluyéndose las comunicaciones satelitales y teléfonos celulares. El costo de estos métodos de comunicación cayó al punto de que con unas pequeñas modificaciones al sistema SCADA, se convierte en la tecnología a elegir en muchos sistemas.

Así es como se encuentra SCADA actualmente, se espera que mejoras en el computador y en las comunicaciones continúen para influenciar el desarrollo de la tecnología. Redes de áreas locales (LANs), métodos de alta velocidad para comunicación digital de hardware, es el tema de relevancia sobre las comunicaciones actualmente.

2. HARDWARE

2.1 Arquitectura Básica del Sistema

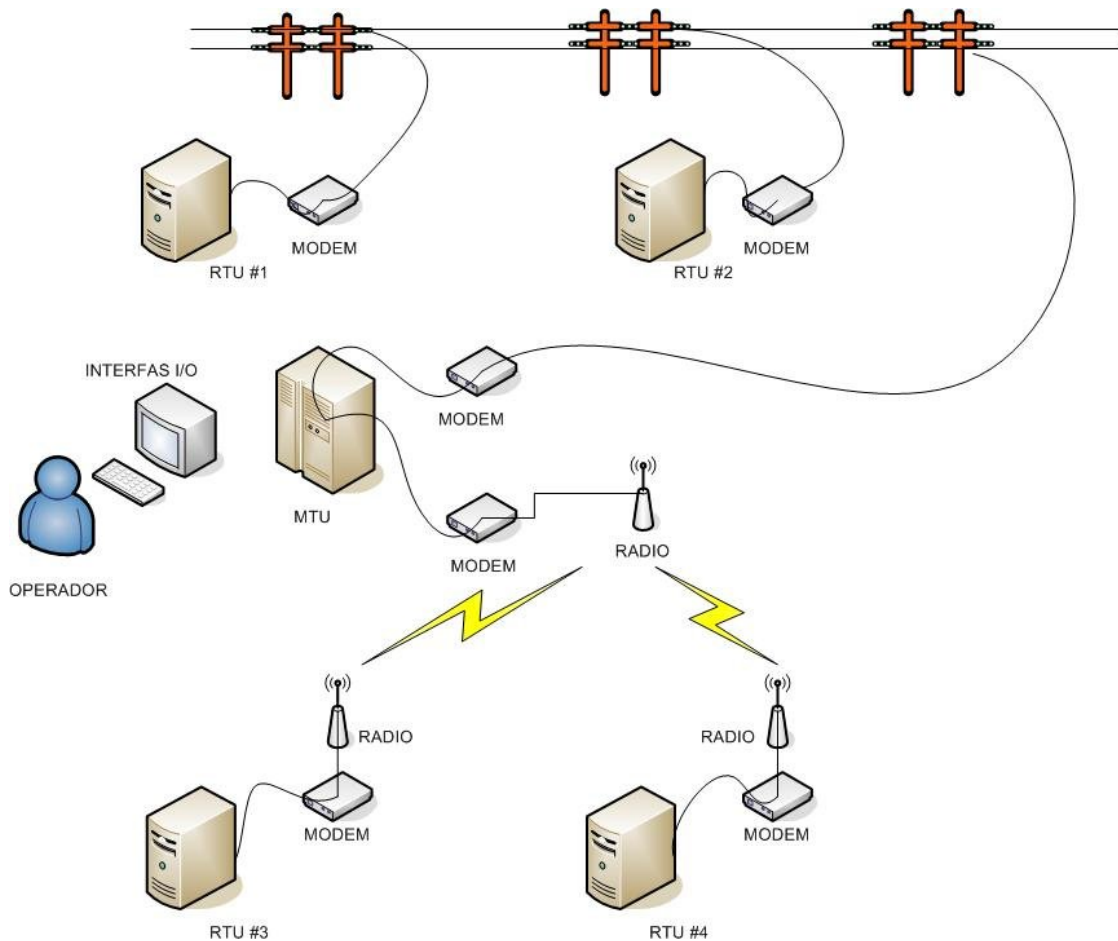
2.1.1 Elementos de un sistema SCADA

La siguiente figura muestra la mayoría de los componentes de un sistema SCADA.

En el centro se encuentra el operador, es quien accede al sistema por medio de un dispositivo de interfase de operaciones, que es llamado normalmente “consola de operación”. La función de la consola de operación es funcionar como una ventana dentro de los procesos. Este consiste de una unidad de despliegue de video (VDU) que despliega en tiempo real datos sobre los procesos y de un teclado que permite al operador ingresar comandos o mensajes a los procesos.

Algunos utilizan también dispositivos trackball, mouse o touch screen, y si el sistema es sencillo una ventana de mensajes es suficiente para saber las condiciones en que se encuentran los procesos remotos. En algunos casos también incluyen señales audibles.

Figura 1. Elementos de un sistema SCADA



Las interfaces del operador y el MTU (master terminal unit) forman el controlador del sistema, algunas industrias utilizan el termino “host” envés de MTU. Este puede monitorear y controlar todo el campo de operación en caso de que el operador no se encuentre, ya que se puede programar una calendarizacion de actividades para que ejecute instrucciones en intervalos de tiempos. Por ejemplo puede ser calendarizado para ejecutar actualizaciones de cada RTU (remote terminal unit) cada seis minutos.

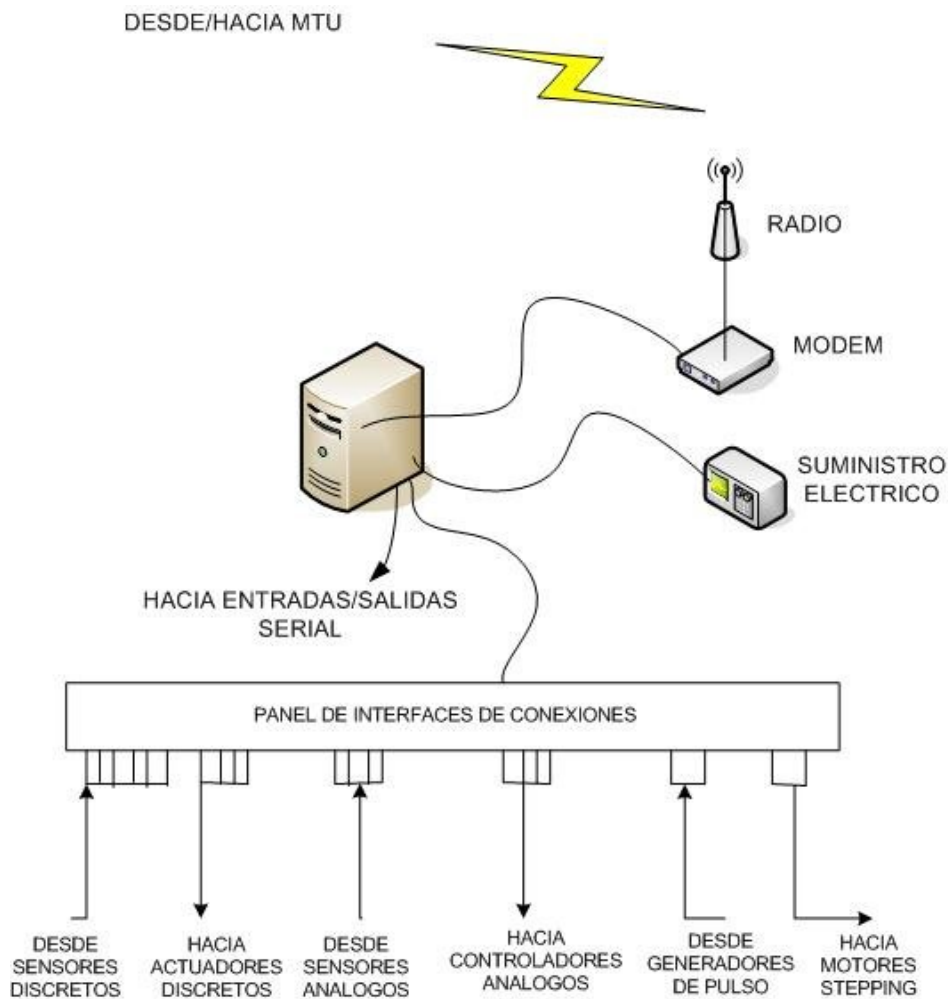
Los MTUs se deben de comunicar con las RTUs que se encuentran lejanamente localizados. Un sistema SCADA puede tener de un RTU a varios cientos. Existen dos medios comunes para comunicarlos como se muestra en la figura: línea terrestre, que normalmente es cable de fibra óptica o cable eléctrico, y por medio de radio. En ambos casos se utilizan modems, el cual modula y demodula una señal. Algunos sistemas grandes utilizan la combinación de radio y líneas telefónicas para la comunicación. En los sistemas de infraestructura eléctrica algunos necesitan un rango de 2400 bps, de manera que viene a ser el rango utilizado para las líneas telefónicas, y además este rango es soportado por la mayoría de los sistemas de radio.

Normalmente la MTU conforma dispositivos auxiliares (por ejemplo: impresoras, memorias de back up) incluidos ya en este, son considerados ya parte del MTU. En muchas aplicaciones el MTU es utilizado también para enviar información de contabilidad a otras computadoras o información de administración a otros sistemas. Estas conexiones deben de ser por medio de cable dedicado entre el MTU y las otras computadoras, actualmente predomina la conexión por medio de LAN (local area network) y en la mayoría de los casos el MTU debe de recibir información desde otras computadoras. Por medio de estas conexiones con otras computadoras es que se lleva un control de supervisión sobre el sistema SCADA.

En la siguiente figura se muestra al RTU y sus conexiones. Como se menciona anteriormente, el RTU se comunica con el MTU por medio de una señal modulada, por medio de cable o radio. Cada RTU tiene la capacidad de entender el mensaje que recibe, lo decodifica, actúa o ejecuta según el mensaje y responde si es necesario, quedando en espera de nuevos mensajes. Actuar según el mensaje recibido es un procedimiento muy complejo, ya que requiere

que revise la posición actual del equipo de campo, comparar tal posición o valor con los valores requeridos, enviar una señal eléctrica al dispositivo de campo para ordenarle un cambio de estado, revisar una serie de switches para confirmar que la orden se ejecuto y enviar un mensaje de vuelta al MTU para confirmar los cambios. Debido a esta complejidad la mayoría de los RTUs se basan en la tecnología computacional.

Figura 2. Remote Terminal Unit



Las conexiones entre el RTU y los dispositivos de campo son en la mayoría por medio de cables, dependiendo de los procesos a realizar, como requerimiento de fiabilidad se utiliza un UPS (uninterruptible power supply), esto para asegurarse de que una falla en el suministro eléctrico no resulte en fallas en los procesos. Se le toma mayor importancia si la función del sistema SCADA es con fines de sistemas eléctricos.

Así como el MTU escanea cada RTU, los RTUs escanean cada sensor y actuador que está conectado a este. El escaneo del RTU es de mayor escala que el que hace el MTU.

2.1.2 Sistema de Dos - Vías

Una de las características que distingue al sistema SCADA de la mayoría de los sistemas de telemetría es ser un sistema de dos vías, ya que es posible no solamente monitorear sobre lo que pasa en el campo o un lugar remoto sino también realizar cosas sobre este, del cual se encarga la parte de supervisión y control del sistema SCADA.

2.2 Estructuras del Sistema

El diseño de sistemas de control es tan complejo como el proceso que este controla. De ahí que existe un gran número de diferentes estructuras de sistemas de control y filosofías de diseño que pueden ser encontradas entre los que supervisan y controlan sistemas de poder.

El repertorio funcional de un sistema de control depende de donde este opera y porque. Diferentes departamentos dentro de una instalación, tiene diferentes requerimientos funcionales en el equipo que se propone para solucionar las funciones del sistema de control. Una distribución de las instalaciones tendrá

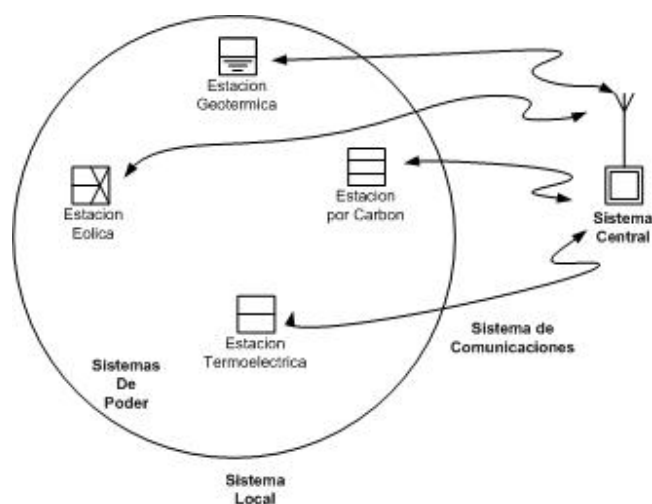
solo un subconjunto de funciones SCADA en un sistema de control pequeño, mientras que una instalación grande podrá tener un sistema de control avanzado que podrá realizar cálculos avanzados en tiempo real.

2.2.1 Subsistemas

Cuando se examina en general la estructura de un sistema de control, dos conceptos importantes que guían el diseño de esta se utilizan: jerarquía y distribución.

Los requerimientos de la jerarquía, donde se descentralizan las funciones, son la consecuencia natural de la organización operacional de las herramientas, en el cual el sistema de control debe de ser adaptado. La razón de tener un concepto de sistema distribuido es que muchos sistemas a ser controlados como los de potencia son por si mismos distribuidos, es decir están geográficamente extendidos.

Figura 3. Subsistemas



2.2.2 Clases de sistema

Las diferentes demandas hacen que el sistema de control allá creado algunas familias o clases de sistemas de control. En todos estos sistemas es posible identificar un sistema local, un sistema de comunicaciones y un sistema central. Ahora estos sistemas son configurados para solventar una necesidad de algún requerimiento que el sistema de control tenga. Se distinguen tres clases de sistemas enfatizando la principal diferencia entre estas.

Clase 1 Esta compuesta por sistemas de control designados a una solo computador central en un sistema central, el típico sistema SCADA. Debido a su simplicidad, este se desarrolla rápidamente, son utilizadas mini computadores como computador central, es posible designar bajo costos utilizando computadores personales. Esta solución hace que un sistema SCADA basado en computadores personales ideales para automatización distribuida. El rápido desarrollo de las computadoras y equipo electrónico influenciaron más a esta clase de sistema en el futuro e incrementan el subconjunto de controles avanzados.

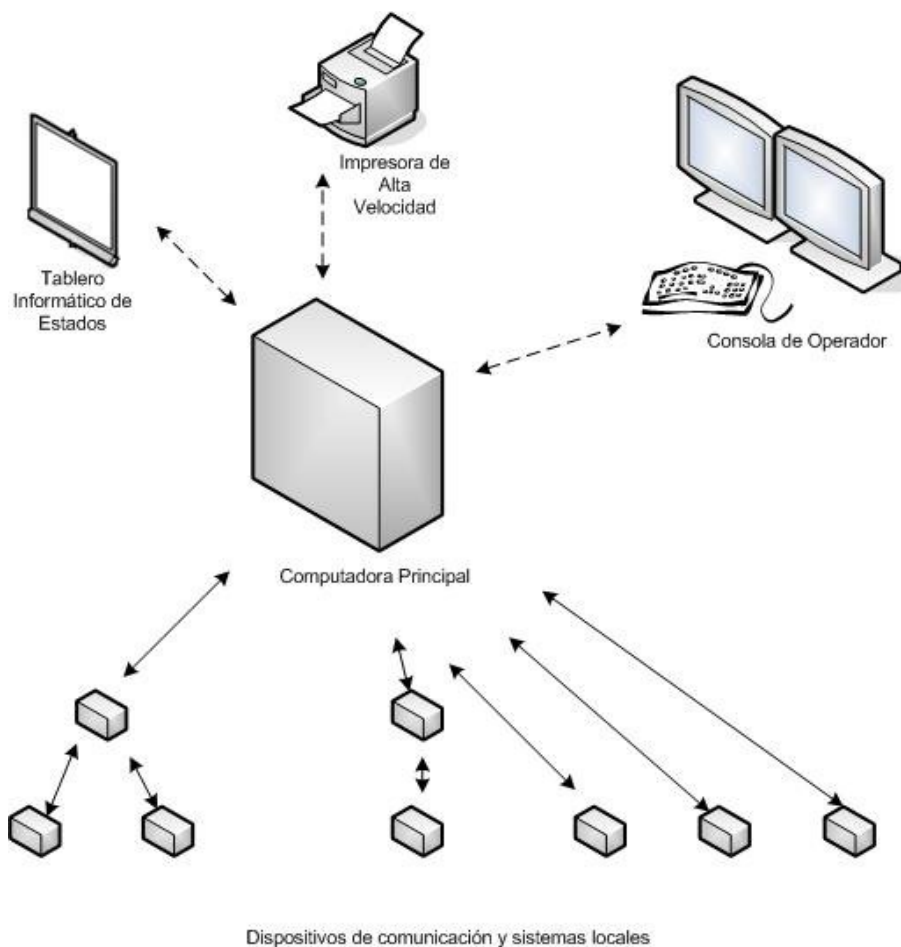
Clase 2 Esta compuesta por un sistema de control con una configuración redundante de computadores en el sistema central, estos enfatizan una fuerte necesidad para la alta disponibilidad.

Clase 3 Esta compuesta por sistemas centrales multi-control, donde hay un numero redundante de sistemas centrales trabajando juntos en varias configuraciones.

2.2.2.1 Clase 1 - Sistema no redundante

El sistema de control clase 1 es solamente el sistema de computador principal. En el sistema central, solo una computadora principal conecta al sistema hombre – maquina con la comunicación y sistemas locales. Una configuración típica para un sistema de clase 1, es la siguiente, esta es tradicionalmente basada en una mini computadora pero hoy en día una computadora personal pueden realizar las mismas tareas.

Figura 4. Sistema no redundante

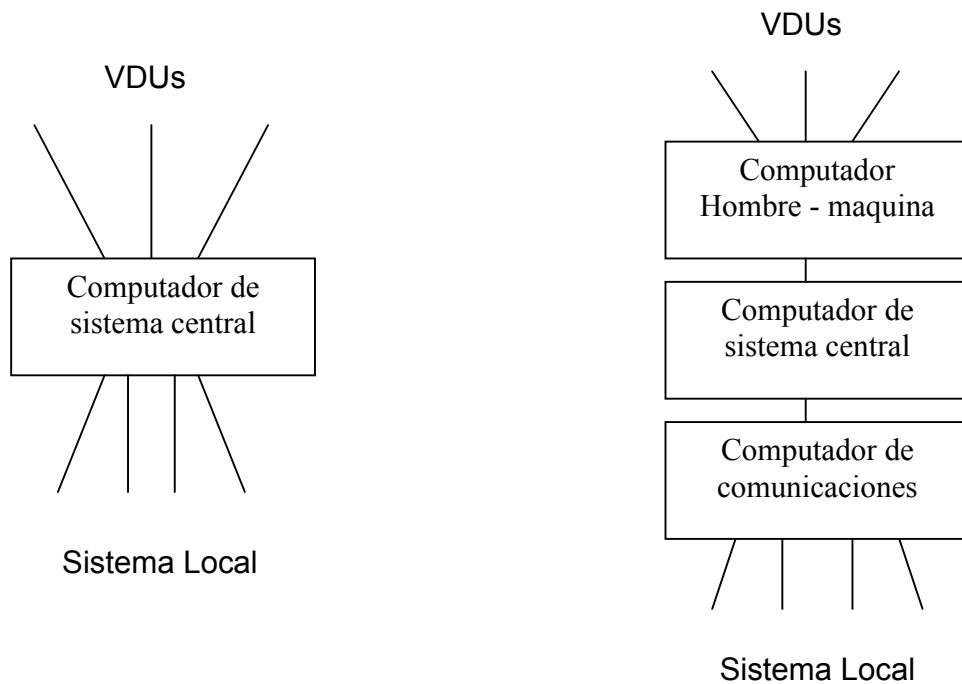


Sistema Clase 1

Existen en principio dos diferentes formas para designar el sistema de clase 1. La primera, usa la computadora central como componente para conexión de todo el equipo en el sistema de control. El principal problema en este caso es que el computador central es interrumpido cuando quiera que un dispositivo periférico realiza un requerimiento de información o envía o pregunta por datos que son almacenados en o recuperados desde el computador central. El resultado es un sistema lento donde hay poco tiempo para otras actividades como el control de la transferencia de datos a equipos periféricos.

La siguiente grafica muestra una solución más conveniente. La carga de trabajo en esta computadora central es realizada con la utilización de sistemas dedicados para el control de la comunicación y el manejo del display. Un sistema usualmente sirve como una interfase para los sistemas de comunicación y realizar alguna manipulación de datos. Por medio del direct-memory-access (DMA), los datos son alimentados a alta velocidad directamente dentro de la memoria del computador central, de esta forma la computadora central es menos interrumpida. La computadora hombre-maquina maneja el display y la transacción de datos por medio de los VDUs. Este debe de almacenar los displays localmente para minimizar el tiempo requerido para cambiarlos. Este también utiliza acceso DMA a la memoria del computador central. Si un componente crítico del sistema cae, el sistema central por completo estará abajo.

Figura 5. Diferencia entre las configuraciones de los sistemas no redundantes



La clase 1 tiene las siguientes funciones:

Adquisición de Datos:

La adquisición de datos tiene un valor medible, por ejemplo: potencia, voltaje, corriente, temperatura, nivel del agua, e indicadores como señales.

Operaciones de Control:

Operaciones como on / off de conectores, start / stop de generadores, manual / auto para regulación local de equipo, incremento / decremento de pulsos o valores para controlar la generación de energía, voltajes, etc.

Supervisión:

El sistema automáticamente supervisa los procesos de colecta de información en función de detectar cambios, la ocurrencia de estos genera una señal de

alarma, de forma que el operador es informado por medio de la interfase hombre-maquina.

Presentación:

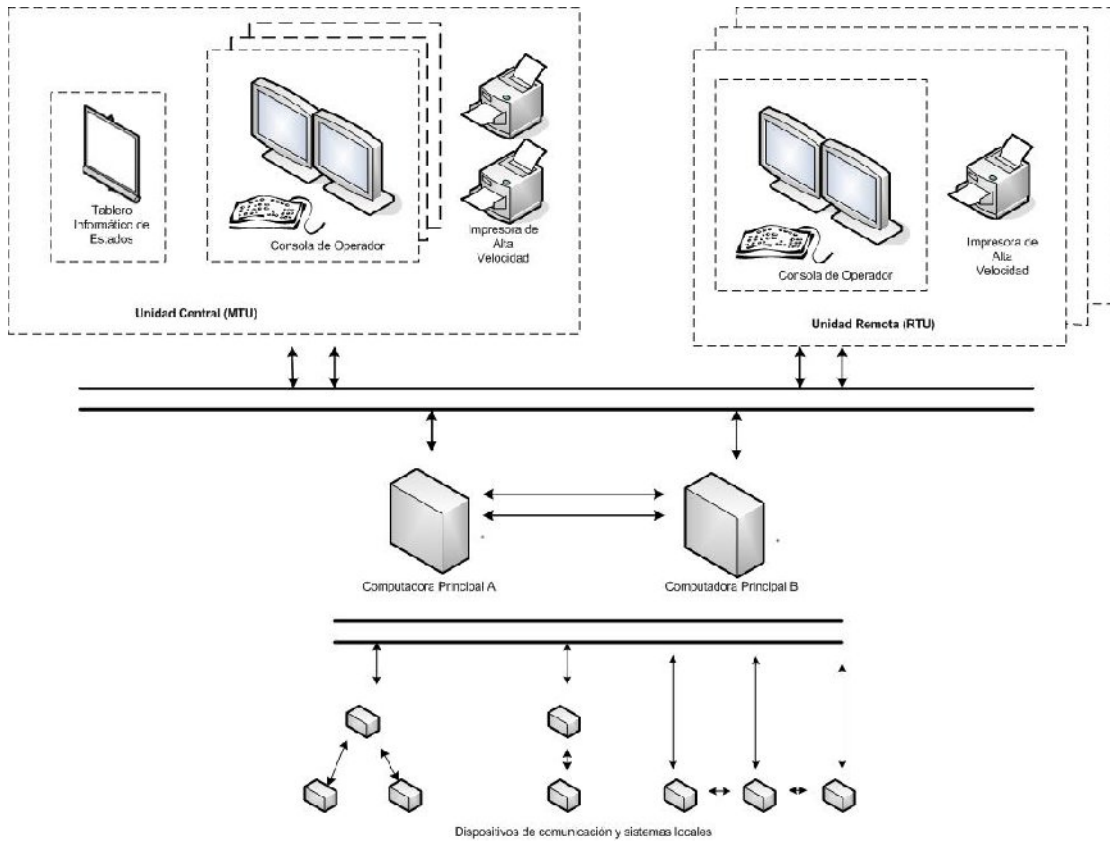
Presentación de la información colectada del sistema así como estatus de la información de controles internos del sistema.

2.2.2.2 Clase 2 - Sistemas redundantes

Si la disponibilidad del sistema de control debe de incrementarse, una duplicación del equipo es necesaria. Esto es cierto para todos los componentes del sistema; la duplicación permite el incremento de la disponibilidad. La duplicación solo incluye el equipo en el sistema central como en el computador central, VDUs etc. Una duplicación de comunicaciones y equipos de sistemas locales deberían de ser en muchos casos favorables, pero no siempre se realizan, debido a los costos.

En una configuración redundante, la pareja de computadoras estan funcinando idénticamente. Trabajan continuamente de un modo primary / back-up (master/slave) o paralelamente. En el modo primary / back-up la base de datos es continuamente transferida desde la computadora primaria a la back-up y esta ultima toma el rol de primaria automáticamente si la computadora primaria cae. Si las computadoras trabajan del modo paralelo, cada computador actualiza su propia base de datos.

Figura 6. Sistemas Redundantes



El sistema de clase 2 contiene la misma funcionalidad al sistema de la clase 1, la única diferencia es que el equipo es duplicado. Algunas características adicionales como el entrenamiento del operador debe de ser fácilmente integrada si la duplicación del sistema es del tipo primary / back-up. El computador back-up debe de utilizarse como un recurso adicional para realizar las mismas funciones. Un sistema redundante es preferente que la utilización de un sistema de clase 1, en los casos donde existen altos requerimientos en el sistema de control. Es así como en las capacidades de procesamiento de datos es mayor y la funcionalidad contenida es consecuentemente también mayor que

en los sistemas de clase 1. Adicionalmente las funciones de control son encontradas juntas en el sistema de clase 2 con funcionalidades orientadas a la aplicación.

La función de supervisión básica es la misma en la clase 1, pero en adición a la colecta de datos este sistema esta provisto para cálculos extensivos. Algunos cálculos que pueden ser realizados por este tipo de sistema son:

- Cálculo de potencia aparente y potencia reactiva. Esto puede tener la importancia en la comprobación de la carga sobre líneas de transmisión.
- Realización de las adiciones de producción de poder o consumo dentro de regiones, con la utilidad, etc. Esto es vital tanto para estadísticas como objetivos operacionales.
- Ejecutando funciones de sistemas de administración de energía, como flujo de carga, valoración estatal, control de generación automática, etc.

Con un mayor poder computacional y grandes capacidades de almacenamiento, es posible utilizar las instalaciones no solo para las operaciones actuales del sistema sino también para propósitos estadísticos y reportes.

Un sistema de clase 2 normalmente tiene bastantes sitios de trabajo de operador consistente en VDUs con teclados. Estos sitios de trabajo pueden ser instalados en sitios remotos. Las impresoras son utilizadas para listados, reportes estadísticos y copias en papel de la información presentada en los VDUs.

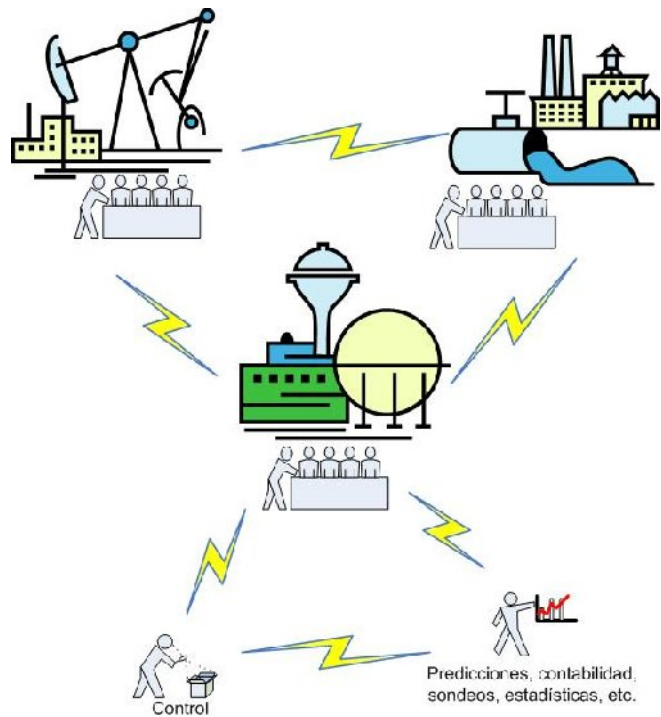
2.2.2.3 Clase 3 - Sistema central multi-control

Un sistema de clase 3 esta formado por un numero de sistemas de control de clase 1 o clase 2 que están interconectadas, trabajando juntas para

solucionar las necesidades funcionales de la organización. La principal diferencia de las otras clases es que el sistema de clase 3 actúa como un sistema homogéneo al usuario. Cada sistema individual participante en el control, cada usuario o función tiene acceso total a los datos y recursos. Estos datos y recursos pueden originarse desde cualquier sistema de control dentro del sistema de clase 3.

En el sistema de clase 3, cada sistema central debe servir las necesidades de un pueblo, región o realizar supervisión básica y de control. Este puede representar una jerarquía de sistemas de control o un número de sistemas centrales en el mismo nivel con muchas jerarquías de sistemas de control. La interconexión entre diferentes sistemas de control hace posible para cada sistema de control compartir datos, recursos computacionales y funciones con otros sistemas de control.

Figura 7. Sistema central multi-control



2.3 Comunicación Hombre-Maquina

El verdadero concepto del control sobre las herramientas implica el requerimiento de la rapidez, una retroalimentación completa al operador y controles efectivos en los métodos de entrada. La comunicación hombre-maquina es también llamada interfase del operador o I/O (input / output). La interfase del operador es la unión de la información que viaja desde el sistema SCADA hacia el operador y desde el operador hacia el sistema SCADA.

2.3.1 Alarmas

Dos de las justificaciones económicas de instalar SCADA es mantener la operación corriendo y restaurarla rápidamente cuando este se cae.

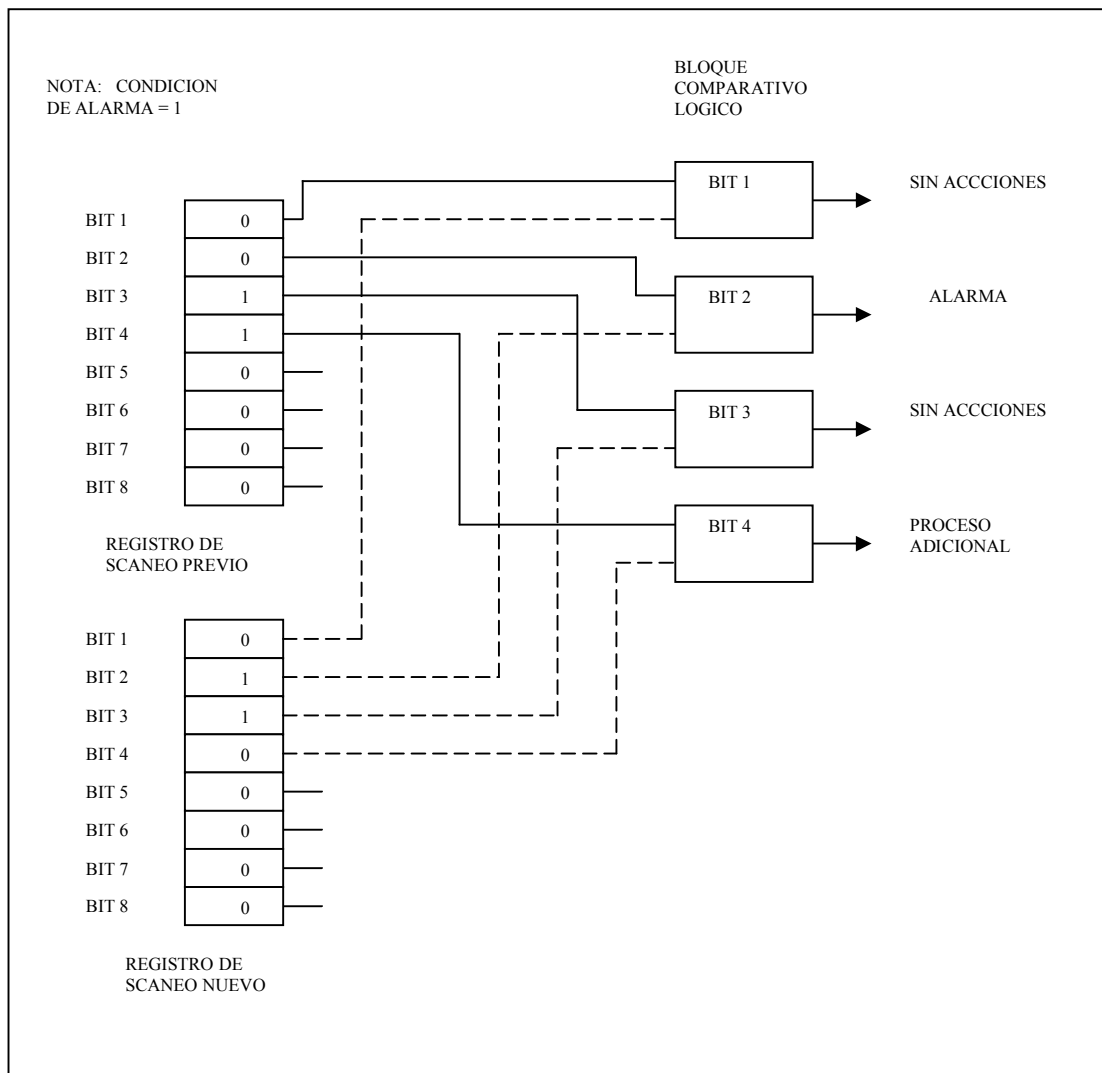
Cuando los sistemas de protección realmente funcionan y se cae el proceso, el operador debe de ser advertido rápidamente para que la condición de emergencia pueda ser rectificadas y el tiempo de caída pueda ser minimizada.

En este punto, el MTU maneja las alarmas de una manera especial, mientras que en los RTUs son manejados de la misma manera como cualquier otro estado de algún punto.

Estos existen como niveles de voltaje en las salidas de un switch físico o electrónico e incluye en los settings de una posición del registro. Pero unas veces estas llegan al MTU, estos son tratados de manera diferente. Las condiciones de cada punto que ha sido identificado como un punto de alarma es comparado con las condiciones tomadas en un escaneo previo. La posición mas alta de la siguiente figura muestra un registro simple de ocho bits, en el MTU se maneja las condiciones de los ocho puntos de la alarma.

Todas las alarmas están en off, excepto el almacenado en el bit 2. La parte baja de la figura es el registro de la última escaneada de información realizada. El MTU ahora realiza una comparación de bit por bit para ver si existen diferencias y así emitir una alarma. Cuando se revisa el bit 1 se encuentra que es el mismo valor, no se hace nada y se mueve hacia el siguiente bit. Cuando se revisa el segundo bit y se encuentra que una nueva alarma se ha generado, se va al modo alarma. Cuando el MTU revisa el bit 3, este siguen sin cambios. Se da cuenta que existe una alarma, pero como no existe ningún cambio este se ignora. Cuando chequea el bit 4, el MTU ve que la alarma que estaba en on ahora esta en off, y se pasa esta información para algún proceso adicional. Cuando revisa del bit 5 al 8 no existe ningún cambio.

Figura 8. Chequeo por nuevas alarmas



Suponiendo que un sistema SCADA monitorea trescientos puntos de alarmas, que aproximadamente ese es el numero promedio, si cien de estos se encuentran en alarma (no es una situación inusual) y el operador es advertido en cada escaneada de sensores, una sobrecarga de información haría que el

sistema no sea funcional, de esta forma es que se maneja el concepto de alarma tipo Reporte por Excepción, en el que solamente se avisa al operador de las alarmas solo cuando sus estatus a cambiado.

En un sistema grande, la información siempre va a ser grande, por lo que una tormenta de alarmas puede ocurrir, inundando al operador con una serie de alarmas en el que el operador se pueda sentir abrumado y no sepa como responder a estas. Considerando el régimen de alarmas de una plataforma de producción, se listan cuatro posibles condiciones de alarmas:

Tabla I. Cuatro posibles alarmas para una plataforma de producción.

<p><i>Producción Plataforma No. 1</i> <i>Pantalla de Alarmas</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Falla en el generador eléctrico• Bomba de transferencia P-101 parada• Fuego en el Modulo generador• Nivel bajo de gasolina en el generador
--

Si el generador eléctrico falla, la bomba manejada eléctricamente también fallara, por lo que no es necesario avisar al operador acerca de cada bomba que se parara. El MTU se puede programar para evitar el “Bomba de transferencia P-101 parada” siempre que la alarma “Falla en el generador eléctrico” este activa, a esto se le llama modo sobrecorrido de alarma, de esta forma se reduce la carga durante los trastornos de los procesos cuando el operador se encuentra muy ocupado. Las ultimas dos alarmas no deben de ser

sobrecorridos si se encuentran respaldados por baterías, que es un procedimiento normal para estos sistemas.

Algunas condiciones de alarmas son mas importantes que otras, algunas no causan ninguna reacción excepto un comentario en la siguiente rutina de mantenimiento de reporte, pero en la mayoría de sistemas SCADA todos los cambios en el estatus de las alarmas son almacenados y fechados o un estampado por fecha de ocurrencia. Este estampado es generado por el MTU al momento de ser recibido, para los sistemas con escaneos grandes, este tiempo debe de ser si mucho media hora luego de haber pasado el evento, si la alarma no ha sido sobrecorrida, debe de ser revisada prioritariamente. Cuando se configura el sistema a cada alarma se le asigna una prioridad, deben de existir entre una y cinco o mas niveles de prioridad, mostrando los siguientes tres niveles mas bajos de prioridad, se muestra que el nivel mas bajo, el tercero, creara que la alarma sea mostrada en la pantalla de alarmas. La segunda prioridad baja mostrara el mismo resultado pero también causara una noticia en cualquiera de las pantallas, alertando al operador para referirse a la pantalla de alarmas para una mayor información. La más alta prioridad creara que la alarma sea visible en la pantalla de alarmas pero con un sonido de alarma, llamando al operador desde donde se encuentre en las instalaciones.

Tabla II. Prioridad de alarmas

Prioridad de la alarma	Reacción del sistema SCADA
1.	Imprimir en "pantalla de alarmas" Imprimir en "Log de alarmas" Mostrar la alarma en cualquier pantalla activa Alarma sonora

2.	Imprimir en "pantalla de alarmas" Imprimir en "Log de alarmas" Mostrar la alarma en cualquier pantalla activa
3.	Imprimir en "pantalla de alarmas" Imprimir en "Log de alarmas"

Las alarmas deben de ser reconocidas por el operador, con las características especial de sirenas, pantallas, etc., generalmente al retorno de la normalidad, un escaneo siguiente no cancelara tales avisos hasta que el operador tenga conocimiento de la alarma. El estampado de tiempo en que el operador hace de su conocimiento la alarma normalmente es almacenado también por el MTU.

En los comienzos del sistema SCADA la interfase de operador consistía en cajas iluminadas y bancos de interruptores de palanca montados en paneles grandes en la sala de mando. Si el nivel de complejidad del sistema es bajo, significa que una computadora de pantalla monocromática capaz de soportar mensajes alfanuméricos será suficiente para el manejo de la información. De la misma forma, la experiencia de los operarios nos puede decir mas acerca de un proceso que una pantalla de estados que les informa directamente, ventajas en las interfaces graficas a color permiten que el operador tenga menos experiencia para poder intuitivamente conocer la situación de un proceso mas rápidamente y con menos esfuerzo que con una interfase alfanumérica monocromática. Las interfaces de operador graficas a color son estándar en todos los sistemas que se construyen actualmente.

2.3.2 Reportes

Anteriormente se había mencionado el almacenamiento de las alarmas y reportes que se hacen, estos son solo dos del vasto número de reportes que son requeridos del sistema SCADA. Estos reportes deben agruparse de varias maneras. Una manera común de agruparlas es preformateada, específica o personalizada, otras formas de agrupamiento es por una impresión automática en tiempos determinados o bien solo imprimir cuando se haga alguna petición o demanda.

La mayoría de las compañías que operan SCADA requieren de una impresora dedicada a realizar un log de las alarmas, es decir a ir haciendo una grabación de las alarmas. La misma información es rutinariamente almacenada en un historiador de datos, de forma transitoria, haciéndolo permanente de manera impresa. Cuando se hace el reconocimiento de la alarma por medio de la impresión se retorna a la normalidad del sistema, en el caso de que allá días con bastantes alarmas, la impresión se vuelve muy ocupada y ruidosa, por eso es que estas impresoras son almacenadas en closets a prueba de sonidos cerca del área del salón de mando.

Debe de hacerse de la necesidad para que rutinariamente la impresora reporte sobre cosas que el operador no ve normalmente, por ejemplo, reportes diarios de comunicaciones, información contable, reportes detallando las necesidades de mantenimientos, etc., estas si deben de ser impresas y retiradas del área del salón de mandos. La impresión de alarmas esta siendo sustituida por archivos, aportando capacidad de búsquedas y filtros.

El grupo final de reportes consisten en aquellos que el operador utiliza para correr los procesos de las instalaciones. Por ejemplo incluir una alarma

especial que reporte un análisis de ayuda sobre un problema o un reporte que permita a cada operador de SCADA llevar una copia detallada de las recientes operaciones en la parte de las instalaciones/campo del que es responsable, esta impresora si debe de estar en el salón de mando.

2.3.3 Interfase de Operador Paralelo

La tecnología del computador ha hecho posible conectar múltiples estaciones pantalla / teclado a una estación de trabajo. Traducido al lenguaje SCADA, significa que mas de una interfase puede ser manejada por un MTU. Raramente a sido un problema tener mas de un operador corriendo un sistema SCADA, si la carga excede la habilidad de un operador, el sistema puede dividirse en dos o tres suboperadores completamente separados dentro del mismo sistema, pero cuando esto sucede cada operador usa una interfase separada y es activada por un password para permitir las acciones del operador, esto incrementa la necesidad de la seguridad en el sistema debido a que ahora habrán varios dispositivos físicos de interfase.

2.4 Realizaciones Técnicas

Las comunicaciones son el movimiento de datos o inteligencia desde una localización hacia otra. Para que la comunicación suceda, se requiere primero, una trayectoria de la comunicación, algún medio debe de seleccionarse por donde viajaran los datos, segundo, debe de existir el equipo que enviara hacia el otro extremo de la comunicación condicionando los datos y convirtiéndolo en alguna forma en que pueda ser enviado a través del medio de comunicación, tercero, un equipo de recepción en el otro extremo para extraer el mensaje desde el medio y entender su significado.

2.4.1 Las comunicaciones hacen posible a SCADA

El sistema SCADA consiste en uno o mas MTUs enviando instrucciones hacia y recibiendo datos desde una o mas RTUs, esta claro que las comunicaciones juegan un papel vital en la operación del sistema.

La instalación de SCADA es justificada usualmente porque lo remoto de los lugares y la dificultad o costo de mantenimiento de estos , en algunos de los casos es peligroso, insano o de otra forma no placentero para una persona estar en un sitio, y simplemente es muy caro tener a un mantener a un operador en el sitio por extensos periodos de tiempo o ya sea visitar el lugar una vez al día, si un sistema de comunicación no puede establecerse, no puede desarrollarse un sistema SCADA.

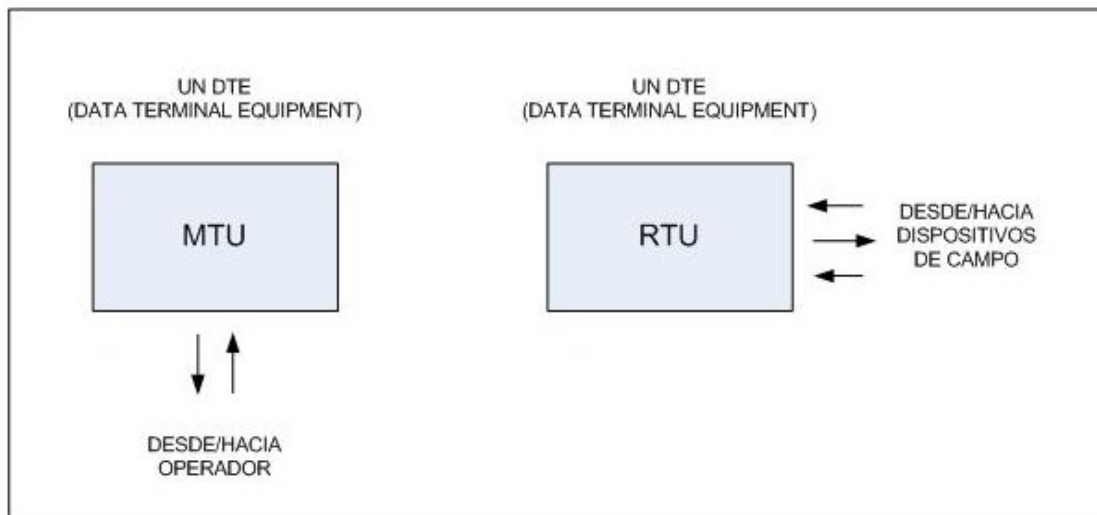
2.4.2 Método de comunicación serial para largas distancias

Todos los datos que se mueve entre el MTU y los RTUS son datos binarios y seriales. Esto significa que una simple secuencia de caracteres binarios es enviado uno después de otro. La alternativa al método serial es el paralelo, los buses paralelos son utilizados entre computadoras y desde computadoras hacia impresoras, pero el costo del medio de comunicación extra (cable) llega a ser prohibitivo para rutas de comunicación a larga distancia. Para comunicar el mundo digital desde un ADC en formato serial se debe de definir alguna convención para la transmisión de los datos, por ejemplo definiéndose transmitir primero el MSB, siguiéndole el bit mas pequeño, hasta que todos los bits son enviados, o enviar primero el LSB seguido por el siguiente bit mas grande, y así hasta terminar de enviarlos. Esta convención es parte de los protocolos de comunicación.

2.4.3 Componentes de los sistemas de comunicación

En la siguiente figura se muestra un sistema simple SCADA con un MTU y un RTU. De alguna manera el MTU y el RTU deben estar equipados para comunicarse uno con el otro. En terminos de las comunicaciones, el MTU y el RTU son llamados “Data Terminal Equipments” (DTEs).

Figura 9. Sistema simple de comunicación

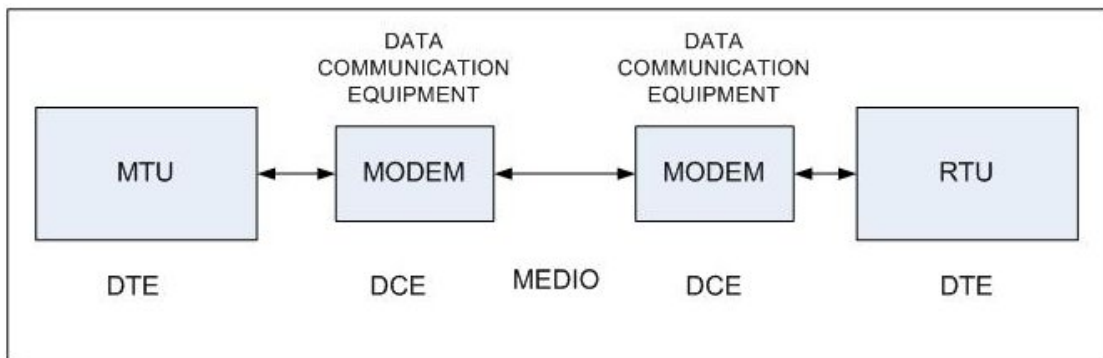


Cada uno de estos tiene la habilidad para formular una señal que contenga los datos que deben de ser enviados. Cada uno de estos también tiene la habilidad para descifrar una señal recibida y extraer la información. Con lo que si carecen es con la capacidad para comunicarse con el medio de comunicación.

En la siguiente figura se interpone el equipo que da la capacidad de comunicarse, los modems, que pueden ser llamados “Data Communication Equipments” (DCEs), que son necesarios para recibir información desde los DTEs, haciendo los cambios necesarios a la forma de la información y

enviándolos hacia el medio de comunicación para otros DCEs, que los recibirán y transformaran antes de pasárselos al DTE.

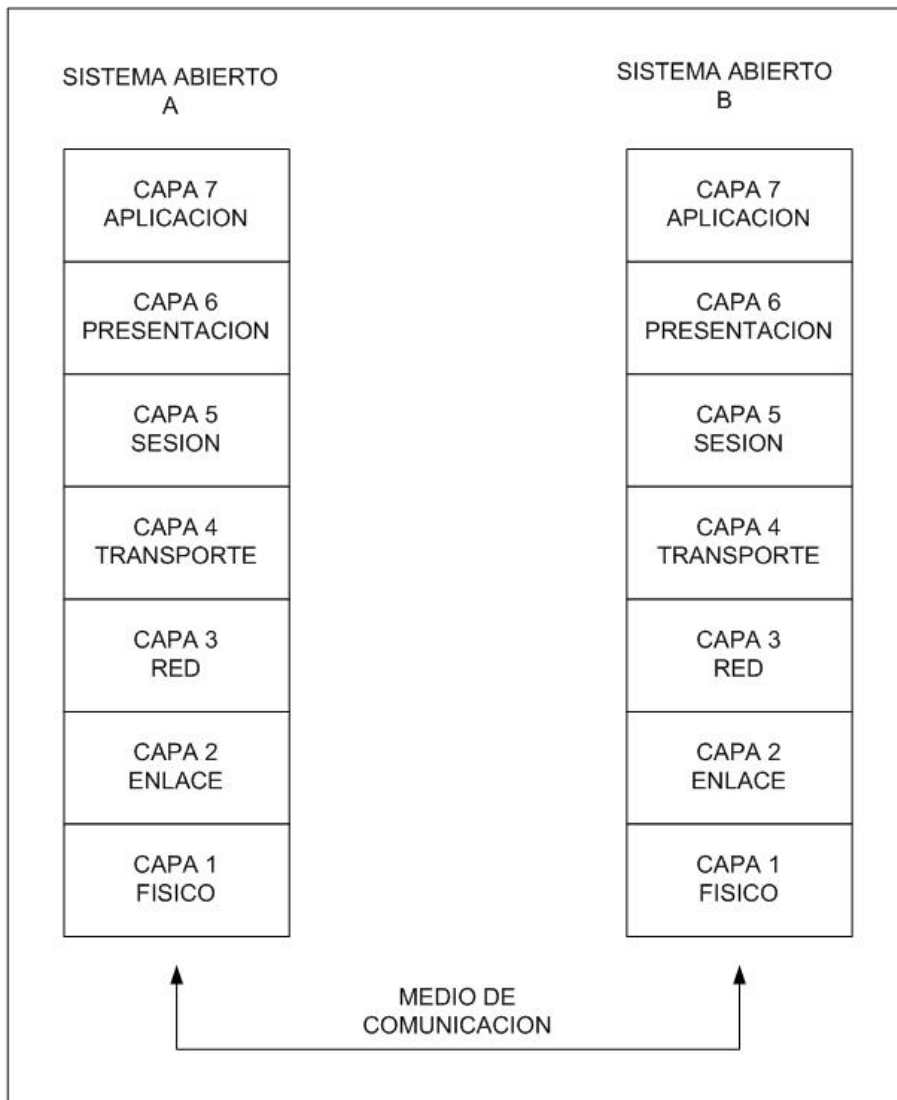
Figura 10. Equipamiento con habilidad de comunicación



La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) ha desarrollado el modelo de Sistema de Interconexión Abierta (OSI). Este consiste de siete capas, el modelo OSI define el modelo de cada capa con la intención de hacer posible la comunicación entre dos máquinas.

La capa mas alta y las dos mas bajas, es decir la capa siete, dos y una, son suficientes para la comunicación de la mayoría de los sistemas SCADA. Es importante notar que no es necesaria una correspondencia directa entre las capas OSI, que definen una función y una pieza física de hardware. La mayoría de la funcionalidad de la capa uno y alguna de la funcionalidad del nivel dos puede ser pensada como funciones en el MODEM, alguna de la funcionalidad de la capa dos puede ser pensada como funcionalidades del MTU o el RTU.

Figura 11. Modelo del sistema de interconexión abierta (OSI)



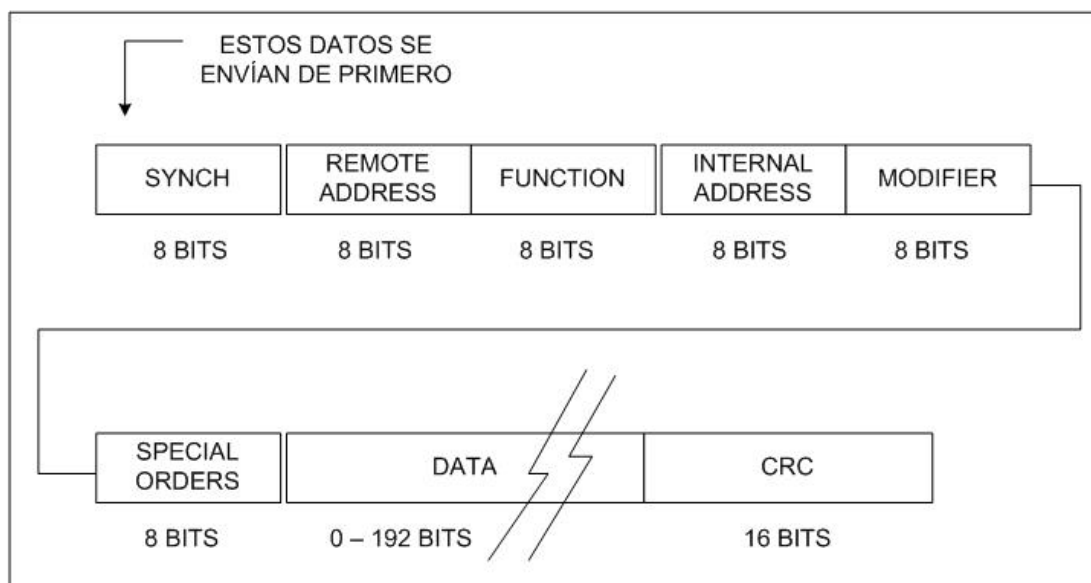
2.4.4 Protocolo

Un protocolo es un juego de reglas que definen el significado de un modelo de palabras binarias, se ha establecido que los mensajes que son enviados desde el MTU a los RTUs son series de dígitos binarios. Este

suministra el código para crear esta larga serie de unos y ceros, el mismo código permite a la estación recibidora decodificarlo. El mismo código usado por el emisor debe de ser usado por el receptor, esto no quiere decir que solo un protocolo es permitido, hay una gran cantidad.

En la siguiente figura se muestra un mensaje basado en el protocolo IEEE C37.1 El propósito de cada bit es definido. La longitud total del documento transmitido es incluido como la suma de todos los bits de arreglo mas el numero de bits de envio en el marco "data". El marco "synch" es una señal para que todos los recibidores potenciales sepan que viene un mensaje y provee una referencia que puede ser usada para sincronizar cada recibidor su reloj con el reloj del transmisor. El marco "remote address" define la estacion a la cual el mensaje es enviado. Ocho bits (un octeto) permite una de 256 estaciones a ser identificadas. El marco "function" define cual de los 256 diferentes tipos de mensajes se realizara. Un ejemplo puede ser "Apagar todos los motores siguientes". El marco "internal address" describe cual set de registros dentro de la estación recibidor el mensaje va dirigido. El "modifier" modifica la dirección interna y define cuantas palabras de datos se incluyen en el mensaje. "Special Orders" contiene un mensaje corto acerca de las condiciones del MTU y RTU. Un ejemplo podría ser: "Reset de todos los contadores de comunicaciones de error". "Data" es un campo de longitud variable, desde 0 hasta 192 bits. "CRC" es un set de 16 bit de redundancia cíclica basada en la formula Bose Chaudhuri Hocquenguem (BCH) para detectar errores de transmisión.

Figura 12. Disposición de un mensaje enviado basado en el protocolo IEEE C37.10



Como se menciona el CRC es un código que es calculado de acuerdo a una fórmula, así como los protocolos, muchas fórmulas CRC pueden ser usadas, es vital tener el mismo CRC en el envío y en la recepción final. El CRC utilizado en la gráfica anterior se llama “(255,239) BCH”, ya que doscientos cincuenta y cinco es el número de bits de tamaño máximo que el código puede mantener y doscientos treinta y nueve es el número de bits de información (sin incluir el CRC). Como se menciona BCH son las iniciales de los desarrolladores del código: Bose, Chaudhuri y Hocquenghem. Otros códigos que se utilizan en la industria de las comunicaciones incluyen CRC-16 y CRC-CCITT. El polinomio para el (255,239)BCH es $(x^{16} + x^{14} + x^{13} + x^{11} + x^{10} + x^9 + x^8 + x^6 + x^5 + x + 1)$. Actualmente se está utilizando el protocolo DNP3 para la comunicación entre las RTUs y MTU.

2.4.5 ¿Sincrono o Asíncrono?

Sincrono y asíncrono se refiere a la necesidad para una señal temporal que se transmite con los datos. Un MODEM sincrónico debe transmitir un pulso de reloj que es usado para asegurarse que el receptor está trabajando a la misma velocidad de reloj que el transmisor. Usualmente, el reloj transmisor es usado para sincronizar un reloj para la recepción. En otros casos, el reloj transmisor es condicionado y actualizado a la señal del reloj del receptor. Ambos métodos causan una señal de reloj a el transmisor y receptor para tener la misma relación de frecuencia.

Un MODEM asíncrono no requiere que el receptor sea sincronizado con el reloj del transmisor. Las señales "Inicio de Mensaje" y "Final de Mensaje" se utilizan para avisar al receptor asíncrono sobre el estado del mensaje.

2.4.6 ¿Cable telefónico o Radio?

El medio de comunicación usado por el sistema SCADA es determinado por dos cosas: transferencia de los datos y los costos.

Para algunos propósitos del SCADA no es factible tener un intervalo corto de escaneo a menos que la transferencia de datos sea alta, sobre los 5000bps.

Cuando se da esta situación, se requiere de un medio de comunicación de banda ancha, mas grande que una línea transmisora de voz, haciéndose necesaria cable de fibra óptica, radio de microondas, o algunos de los mas sofisticados sistemas UHF.

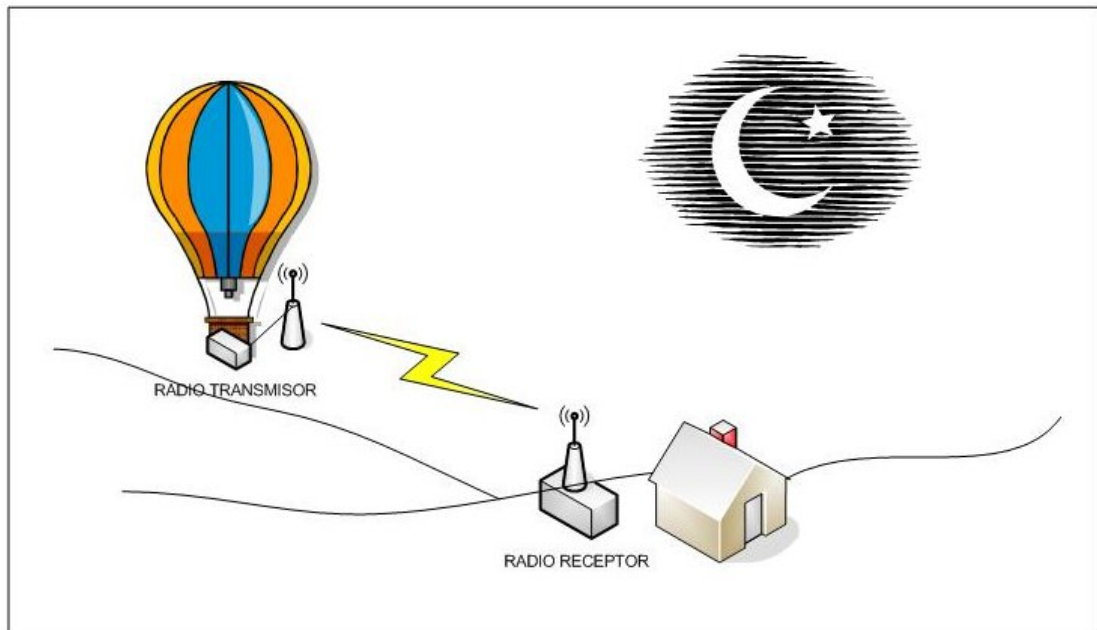
El cable telefónico fue en un tiempo el medio de comunicación preferido, el bajo costo de compra e instalación hace su utilización aceptable, pero algunos problemas surgen por la utilización de este. Problemas causados por mordeduras de roedores en el cable se eliminan poniendo una armadura alrededor de los conductores.

Para áreas remotas, donde las compañías de teléfono no tienen incentivo para instalar sus propias líneas, se hace necesario para el usuario pagar un capital alto de costo para que la compañía de teléfonos instale una línea que pueda alquilarse. En otras áreas el usuario debe de pagar e instalar el cable. Estas opciones no ofrecen una flexibilidad si se da la necesidad de moverse.

La radio en cambio ofrece flexibilidad, bajos costos, y una alta fiabilidad, siendo el mas complejo de los dos tipos de comunicaciones comúnmente usadas en los sistemas SCADA. Las comunicaciones son la llave para un sistema SCADA, este es mayormente dependiente que cualquier otro elemento de SCADA, por esta razón, las comunicaciones merecen mucha atención en las fases tempranas de diseño.

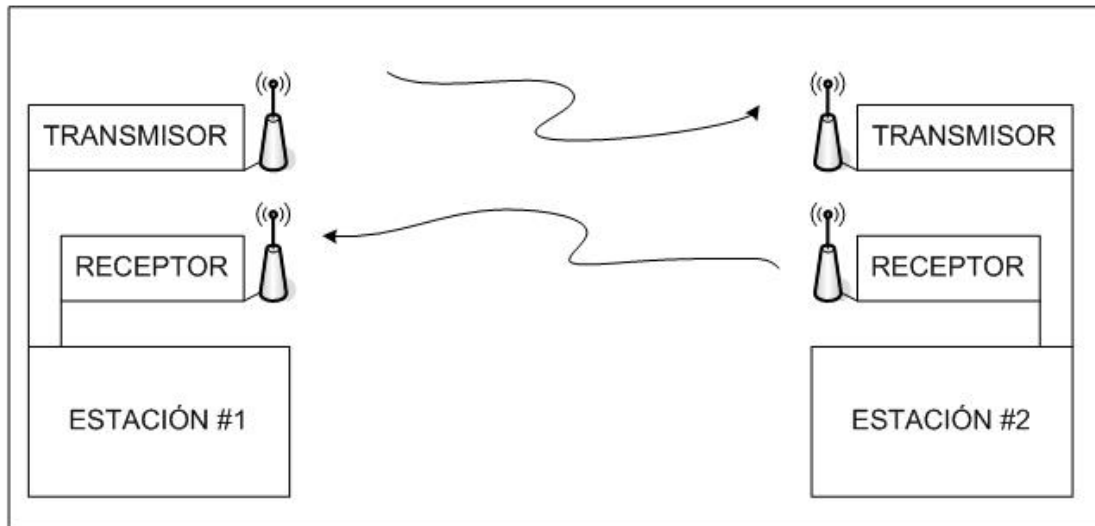
Las comunicaciones por radio pueden ser de una vía para el paso de información o de dos vías de intercambio. Los términos usados para describir la capacidad de un sistema de comunicaciones para el movimiento de información son: simplex, half duplex, duplex. Los sistemas simples permiten pasar la información hacia una dirección, en le que se puede enviar información pero no recibir, por ejemplo, las señales enviadas por telemetría por globos climáticos, cohetes experimentales y difusiones comerciales de radio y TV. Desde que el SCADA requiere movimiento de información en dos vías, no se usa la comunicación simplex.

Figura 13. Sistema Simplex



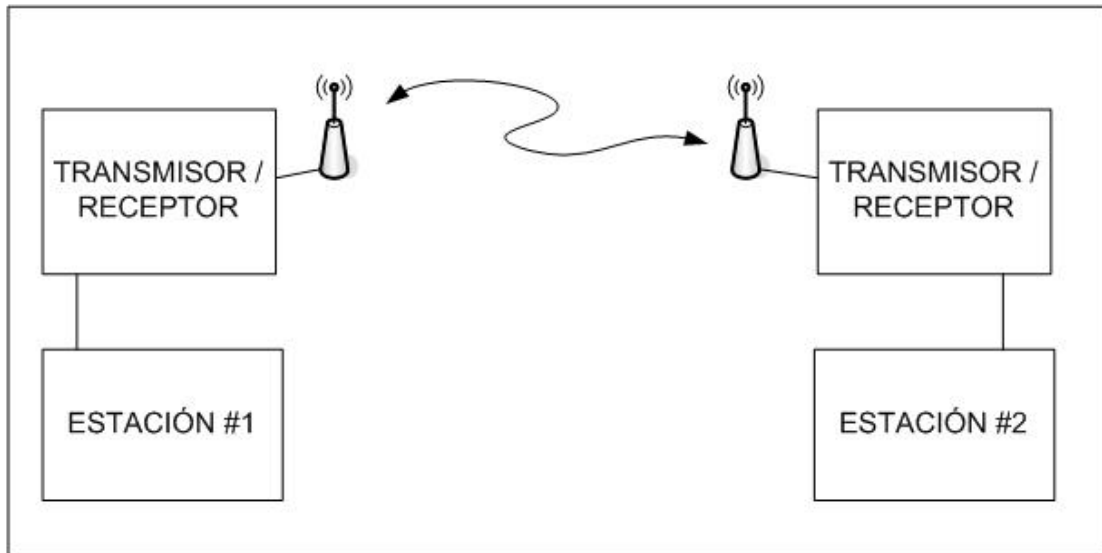
Del otro lado se encuentran las comunicaciones duplex, algunas veces llamadas “full duplex”, esta permite la comunicación de la información para ser transmitida y recibida en el mismo tiempo, el duplex es como tener dos sistemas simples corriendo paralelamente uno con el otro pero en direcciones opuestas. Cada una de las estaciones puede hablar y escuchar, un ejemplo del duplex es el teléfono.

Figura 14. Sistema Duplex o Full Duplex



Si es necesario mover información en ambas direcciones pero no continuamente, es posible usar un par de cables o una radio frecuencia con los datos viajando algunas veces hacia una dirección, y algunas veces hacia la otra. A esto se le llama half duplex, por ejemplo, teniendo la salida del transmisor conectado a la entrada del receptor. Los sistemas SCADA permiten usar full duplex o half duplex.

Figura 15. Sistema Half Duplex



2.4.7 Comunicaciones Satelitales

Geosincrónicamente las comunicaciones satelitales son ahora el umbral de accesibilidad financiera para las comunicaciones SCADA. Para la mayoría de las aplicaciones, este es una forma mas barata para enviar mensajes ida y vuelta entre el MTU y los RTUs. Pero para los sistemas grandes como tuberías y líneas de transmisión eléctricas, especialmente remotos, en áreas pobremente desarrolladas, los satélites son el mas efectivo en costos para método de comunicación.

El MTU y cada RTU tiene acceso a una antena que es apuntada a un satélite que se mantiene sobre el mismo punto (de ahí, geosincronico). El satélite actúa como un radio repetidor, recibiendo datos desde una estación y enviándolo a las otras. Usualmente, se tiene un costo de capital por las antenas y equipo de radio especial, también una mensualidad de honorarios por el servicio, esta es

como la tarifa cargada por cualquier utilización de equipo de comunicación, el costo se hace mas razonable cuando mas usuarios compartan el sistema, que por supuesto tiene muy altos costos iniciales.

Aunque el radio aparentemente tiene muchas desventajas, este usualmente ofrece suficiente ventajas sobre las líneas terrestres para ser el medio a elegir.

2.5 Seguridad

Cuando se considera que con pocas pulsaciones de teclas en un teclado estándar es posible cerrar un campo entero de combustible, líneas de tuberías o un sistema de suministro eléctrico, se hace lógico pensar en algunas mediciones de seguridad que deben de haber en el lugar para controlar quien hace estas pulsaciones. Las salas de control convencionales cuentan con políticas de seguridad para asegurar que solo las personas que tienen autorización puedan efectuar los cambios. En el nivel más básico, se encuentra la seguridad de acceso. Instalaciones especiales son frecuentes para mantener al público y visitantes sin acceso a los procesos y centros de control. El acceso a la sala de control se vuelve más difícil por estar dentro de un lugar cercado y aislado con monitores de seguridad o cerraduras especiales. Dentro del salón de control y en todos los procesos, existen políticas para permitir a grupos específicos de empleados ajustar algunos parámetros de control y a otros grupos ajustar otros parámetros. El concepto de aislamiento físico es el primer nivel de seguridad.

Normalmente, el acceso a los datos no es fuertemente estricto, ya que se asume que cualquiera que tiene acceso al salón esta autorizado para ver los datos reunidos por el sistema. En los sistemas modernos amistosos al usuario no se diferencia entre usuarios autorizados y sin autorización, debido a que se

han hecho varios esfuerzos para que la interfase del operador sea lo más amigable posible, que literalmente las personas que manejen el computador requieran poca o ningún entrenamiento para moverse dentro del sistema.

Candados físicos han sido usados en el pasado para restringir la operación del teclado o de otros dispositivos de entrada, pero esto era torpe, consumiendo tiempo y limitándolo. Corrientemente los procedimientos de seguridad usan claves de software o códigos para permitir operaciones sobre distintas clases de control. Tres clases son usualmente suficientes, pero algunos sistemas utilizan cinco o más.

Tabla III. Sistema con cinco clases de control de operaciones

Nivel de Seguridad	Empleados permitidos	Funciones permitidas
A	Todos	- Ver cualquier pantalla
B	Operadores en entrenamiento	- Todas las funciones de tipo "A" - Controles de cambio de valores -Conocimiento de alarmas -Iniciar / finalizar el equipo
C	Operadores calificados	- Todas las funciones de tipo "B" - Cambiar valores de las alarmas

		- Desactivar controles y alarmas
D	Técnicos de instrumentación	- Ver cualquier pantalla - Ajustar controles -Analizar todos los reportes de las alarmas -Configuraciones simples
E	Ingenieros en sistemas	-Configuraciones complejas -Ajustar factores de contadores -Asignar códigos de seguridad

Un operador de control de procesos es asignado a un nivel, que permitirá ajustar valores, puntos de alarmas e iniciar o finalizar el equipo. Instrumentos técnicos se asignan a diferentes niveles, los cuales permitirán reiniciar los sistemas de comunicación, acceso a los detalles acerca de la frecuencia de varios tipos de alarmas y ajustar asignaciones de alarmas y otros sensores. Sistemas de ingeniería son asignados al nivel donde se les permitirá acceder y modificar los algoritmos y cambiar los contadores en los cálculos. El administrador del sistema es asignado al nivel donde podrá cambiar código y realizar otras funciones a nivel del sistema.

La tecnología de password ha progresado al punto en que es práctico tener un sistema para almacenar los cambios realizados y quien los ha hecho. Esta tecnología es algunas veces utilizada, dependiendo del potencial del sistema y de la filosofía de operación del sistema.

2.5.1 Sistema de seguridad

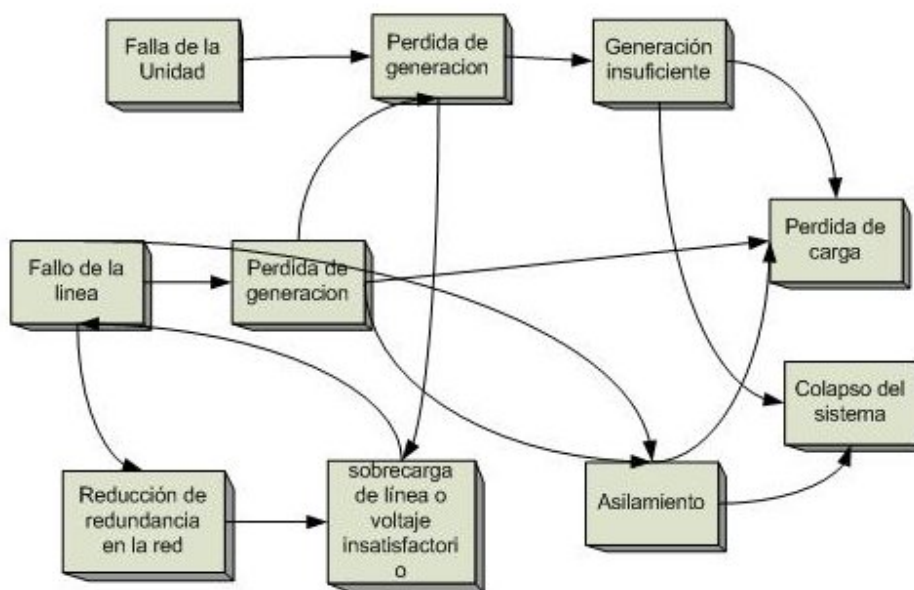
Tan antiguo como el tiempo en que la electricidad ha estado en servicio, los efectos de una interrupción o corte en el suministro eléctrico han venido teniendo un mayor impacto para los consumidores y los proveedores de la energía eléctrica. Como las sociedades modernas se han convertido en más dependientes de la energía eléctrica, los efectos de un corte han venido siendo cada vez más severos y dañinos. De esta manera las estrategias para eliminar o reducir los efectos de perturbaciones en el sistema eléctrico han tenido una mayor importancia en todas las formas, en la planificación, diseño y expansión de los sistemas eléctricos. Otra definición, es la capacidad de soportar el impacto de cambios repentinos debido a la interrupción de equipo, ejemplo, pérdida de un generador, una línea de transmisión, etc.

Estas definiciones del concepto seguridad de un sistema de poder son aplicados en operación en tiempo real, una definición de seguridad(valor) cuando la fiabilidad del sistema de poder es considerada es el grado de aseguramiento de un sistema de poder en la evitación de caídas en cascada incontroladas que pueden causar interrupciones de energía extendidas.

La meta es estar preparado para futuros eventos, un diagrama de acciones o un entendimiento de cómo una situación debe de ser manejada debe de establecerse. Con un control preventivo algunos o todos de estos problemas pueden eliminarse, el control preventivo y el control de emergencia deben de ser llamados control de seguridad.

La caída de un sistema debe de ser limitado usando acciones de control de emergencia, la carga automática es el mecanismo de control principal de socorro. La caída normalmente resulta en una o varios problemas a el sistema.

Figura 16. Posibles problemas del sistema



3. SOFTWARE

Para poder integrar aplicaciones de software a un sistema central, se requiere de una buena programación básica como de un entorno de programación, se requiere de características adicionales en los ordenadores comunes del mercado para que el sistema básico de software de una aplicación trabaje como una computadora orientada en tiempo real.

El sistema de software entregada por un fabricante de ordenadores incluye un kernel de un sistema operativo. Este sistema operativo tiene drivers de dispositivos o manejadores que permiten al usuario conectar el computador a dispositivos periféricos. Una base de datos puede ser encontrada como una parte integral de un sistema de software, en muchos casos esta se simplifica a un sistema de administración de archivos, en otro casos la base de datos tienen algún grado de libertad para hacer posible la organización, manipulación y acceso a datos no solo desde los archivos y nivel de almacenamiento, sino también bajar a componentes individuales.

El concepto de base de datos requiere de características adicionales que no se encuentran en un desarrollo de base de datos generalmente. El sistema SCADA es desarrollado alrededor de puntos representativos de los procesos

La primera aplicación de software orientada que es necesaria es el software dual o para mayor redundancia general en las comunicaciones del computador. El sistema de software entregado con el computador normalmente contiene software para comunicación usando el hardware, es decir, dos computadoras pueden ser físicamente conectadas y comunicarse con la sintaxis de comunicación orientada al hardware. El software adicional requiere permitir comunicarse con niveles mas altos, como una transferencia en caliente de

bases de datos a un computador en stand-by, transfiriendo la base de datos después de la generación de la base de datos y mecanismos de failover como una supervisión del estado de otro computador.

La segunda aplicación de software orientada es para la supervisión de software y hardware. Incluyendo funcionamiento de supervisión, un programa regularmente chequea la operación dentro del CPU y utiliza sistemas de software para estatus de las rutinas, por ejemplo rutinas como lectura y escritura a memoria para los logs de errores, programas de chequeo de ínter bloqueo, chequeo de protección de memoria, etc.

Por último, puede haber aplicaciones orientadas a software básico que realice algún pseudo lenguaje de alto nivel. Este lenguaje es usado para manipular por ejemplo acceso a datos, almacenar datos, acceder hardware usando llamadas al sistema, realizar cálculos usando datos almacenados, etc.

3.1 Elementos de software de un sistema SCADA

Muchas funciones básicas usadas en los sistemas SCADA son muy similares en diferentes sistemas, un ejemplo de esto es la adquisición de datos. En este caso las indicaciones y valores medidos son colectados desde los RTUs y actualizan la base de datos. El mensaje y el formato del telegrama pueden ser independientes del proceso de supervisión y control. Otro ejemplo es la función de presentación, presentación de dos o cuatro estados de objetos, presentación de valores numéricos, gráfica de barras, curvas, etc. Otras funciones necesitan mas flexibilidad en función de cumplir con demandas especiales.

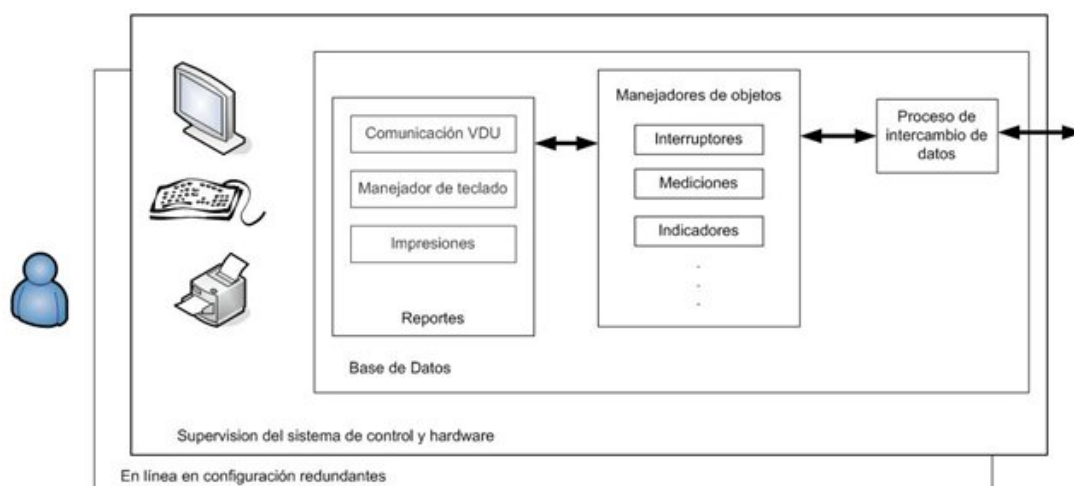
El primer modulo necesario para desarrollar el sistema de software de SCADA es el modulo de proceso de intercambio de datos. Este programa es la frontera del software con el resto de los sistemas de control, desde el punto de vista del sistema central. Los datos e información que viene al sistema central puede ser accesado usando este programa. La transferencia espontánea de datos provenientes de los RTUs son manejados por este programa.

El siguiente paso definiendo el software del sistema SCADA es el paquete para realizar programas o manejadores para cada objeto particular. Como un manejador asigna y colecta características de diferentes partes del sistema como por ejemplo: un interruptor, mediciones, indicadores, etc., cada manejar debe de ser mas o menos complejo, definiendo las propiedades del objeto a un grado detallado.

Ahora que se tiene un concepto del sistema de software, con características de actualizar una base de datos, manejar objetos individuales de los procesos del sistema y mecanismos para incrementar el control de la disponibilidad del sistema. Los programas acabados de definir son también supervisados para asegurar el apropiado funcionamiento y el hardware conectado es definido y monitoreado. Agregando un programa para la comunicación del VDU, el sistema de control lógico conecta al sistema con el operador humano. Incrementando la comunicación hombre-maquina con manejadores de teclado, el operador es posibilitado para invocar flujos de datos desde una parte especifica de una supervisión y proceso de control.

Los programas por realizar son aquellos que definen como los datos deben de tratarse cuando se muestran en los monitores. Usando programas de reporte, es posible presentar datos en el monitor VDU.

Figura 17. Elementos del software SCADA



El flujo de datos interno entre varios módulos de software puede ser administrado y solucionado en varias formas. Es importante recordar que los requerimientos responden al tiempo real, de la cual un gran grado es determinado por la administración del flujo de los datos. Un mecanismo básico que dispara o acciona el software interno es la llegada de datos desde el sistema de energía por medio del programa de intercambio de datos de los procesos. Este es el tratamiento primario del proceso de información.

Un tratamiento secundario del flujo de datos, inicia en dirección opuesta, es la interacción del operador con el sistema de control por medio de la interfase hombre-maquina. El operador hace requerimientos para una pantalla o inicia secuencias de control desde su teclado, los programas son inicializados para servir a sus requerimientos.

La forma en que fluyen los datos es controlada y los programas son inicializados por una clasificación de inicializaciones de eventos-manejadores.

Este es el control típico de software orientado a tiempo real. El opuesto podría ser inicializaciones de programas cíclicos donde los programas son disparados independientemente sin nada que realizar.

Ejemplos de utilización del software:

Figura 18. Estación de bombeo domiciliar

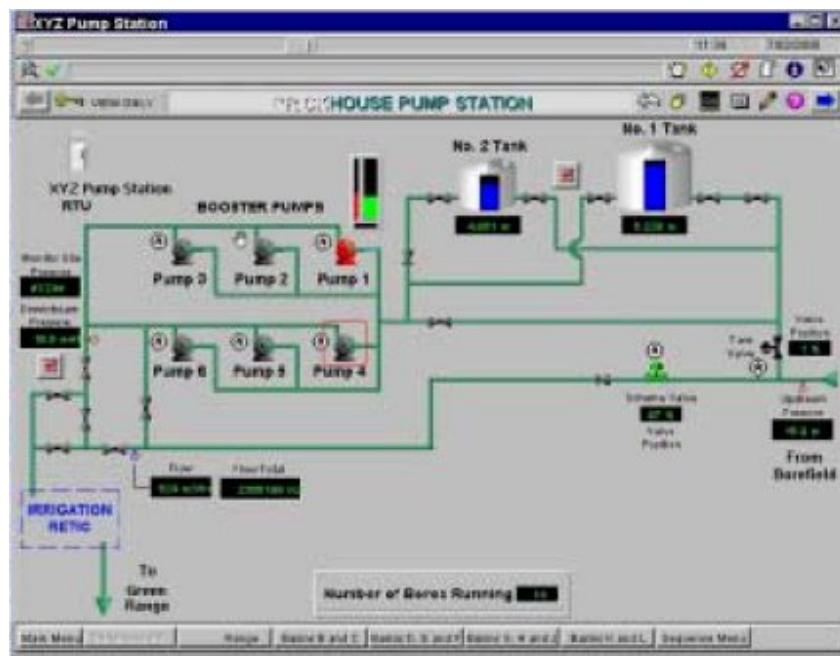


Figura 19. Cuarto de Mezclas



Figura 20. Temperatura e iluminación en estación



3.2 Funciones de Supervisión y Control

Los sistemas de control de supervisión computarizada han estado en operación en las herramientas/autoridades de energía por todo el mundo por 35 – 40 años. La experiencia a establecido juegos comunes de funciones básicas operando en la mayoría de los conceptos de sistemas en el mercado, independientemente del fabricante del sistema. El sistema SCADA es un concepto de hardware y software general que provee un conjunto flexible de funciones. Las funciones de SCADA son proveídas también para un continuo desarrollo del sistema de control, una vez que han sido puestos en funcionamiento. Este es el requerimiento básico desde que es posible agregar nuevos componentes de sistemas de poder que van a ser monitoreados y controlados por el sistema de control. El software ahora es claramente funcional y con diseño modular que provee una actualización sencilla y expansión. La mayoría de software es escrito en lenguajes de alto nivel. Por el uso de técnicas avanzadas de bases de datos en tiempo real es posible introducir nuevos datos y nuevas estructuras fácilmente según el crecimiento funcional del sistema.

Las funciones del software es monitorear en diferentes formas, la supervisión de los objetivos del programa para asegurar que no se bloquee en la ejecución en la memoria principal (loop del programa). Este monitoreo es usualmente implementado en niveles de prioridad de software diferentes. Monitorear para el aborto de programa es hecho por el sistema operativo por si mismo que aborta la ejecución de un programa si hace una petición de una operación sin autorización. Los errores de los datos también son monitoreados. Cuando una referencia inaceptable, un numero excesivamente largo o un nombre in identificado es encontrado, un mensaje es generado dando la causa y la ejecución de la transacción de datos es terminada.

Un sistema de control computarizado típicamente contiene cientos de programas, subrutinas y funciones, todos en formas diferentes como código fuente, código de objetos, formatos de descarga, etc.

Durante el tiempo de vida del sistema de control este tiene que ser mantenido y adaptado a los cambios de la red de potencia y a nuevos requerimientos funcionales. Todo esto es realizado con una integridad del sistema y con una mínima interrupción de las operaciones del sistema de poder. La integración de instalaciones para diagnóstico de hardware, base de datos, generación de visuales y desarrollo de software se ha convertido en crucial para todo el diseño. El sistema de mantenimiento en general involucra tres herramientas que están integradas en el sistema de control:

- Instalaciones de pruebas de diagnóstico para la comprobación del hardware, software y base de datos
- Generación de funciones de bases de datos para los datos, los visuales y los reportes
- Desarrollo de software incluyendo no solo la programación, links, etc., sino también rutinas de pruebas e integración en el sistema.

El monitoreo del sistema de control revisa el estado de los dispositivos y los links de comunicación, incluyendo las unidades de back-up. El resultado es almacenado en la base de datos, y puede ser presentada a los operadores en visuales configurables. El monitoreo del sistema de control tiene un considerable efecto en la disponibilidad del sistema. Como el tiempo medio de reparación (MTT) es uno de los factores que afectan la disponibilidad, es importante que el personal de servicio este equipado con herramientas adecuadas para la búsqueda y aislar cualquier falla. La supervisión funcional

incluida en el software es la primera forma para descubrir la falla. Para proveer detalle en análisis de posibilidades el sistema esta normalmente equipado con software de diagnostico. El software de diagnostico es entonces ejecutado en línea con la unidad tomada fuera de servicio u off-line con un computador redundante. Los paquetes de diagnostico también incluyen normalmente funciones para debugiar y probar los programas, así también revisar el contenido de la base de datos.

Todo desarrollo de software es normalmente realizado usando computadores de back-up en un sistema dual de computadores. Las pruebas de los cambios programados son también realizadas en el back-up. Cualquier error hecho que no haya sido descubierto durante la compilación puede entonces ser detectado sin la influencia de la computadora primaria y así también sin afectar las funciones del sistema de control. Pruebas extensivas pueden ser realizadas en el nuevo programa hasta que toda la base de datos este actualizada y disponible. Con el cuidado de que en el nuevo back-up la vieja versión del programa cambiado todavía reside y puede ser traído de regreso por cualquier falla que se diera.

3.2.1 Pantallas para la supervisión y control

Con la ayuda de las siguientes tareas de visualización se puede realizar una supervisión y control del sistema:

- Visualización de pantallas asociadas al proceso
 - Overview: Vista muy general de la planta en bloques, permite la visualización rápida de sectores en alarma y da acceso a las pantallas de grupo, pulsando una tecla o cliqueando en una zona.

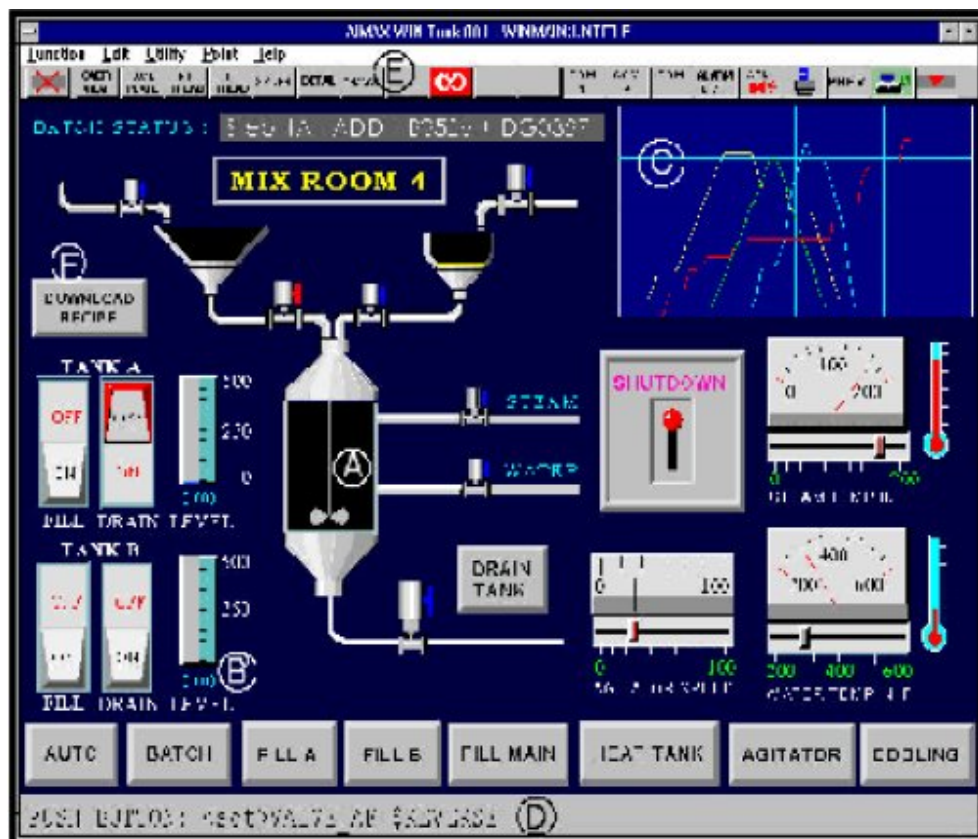
- Grupo: Modificación de valores numéricos, comandos ON/OFF, visualización de estados, visualización de variables y acceso a otras pantallas.

- Detalle

- Pantallas de Alarma
- Pantallas de trending
- Pantallas de estado del sistema
- Pantallas de estado de comunicaciones

Los componentes de una pantalla grafica son:

Figura 21. Componentes de pantalla grafica



- A - Símbolos de los equipos de proceso
- B - Valores de variables
- C - Trending
- D – Botones y macros de teclado
- E – Botones de barra de herramientas
- F - Atributos gráficos animados

Las pantallas para realizar cambios a los valores pueden ejemplificarse de la siguiente manera:

Figura 22. Pantallas para cambio de valor



Cambio de valor para punto análogo



Cambio de valor para punto digital

Ejemplo de Editor Grafico:

Figura 23. Ejemplo de Editor Grafico

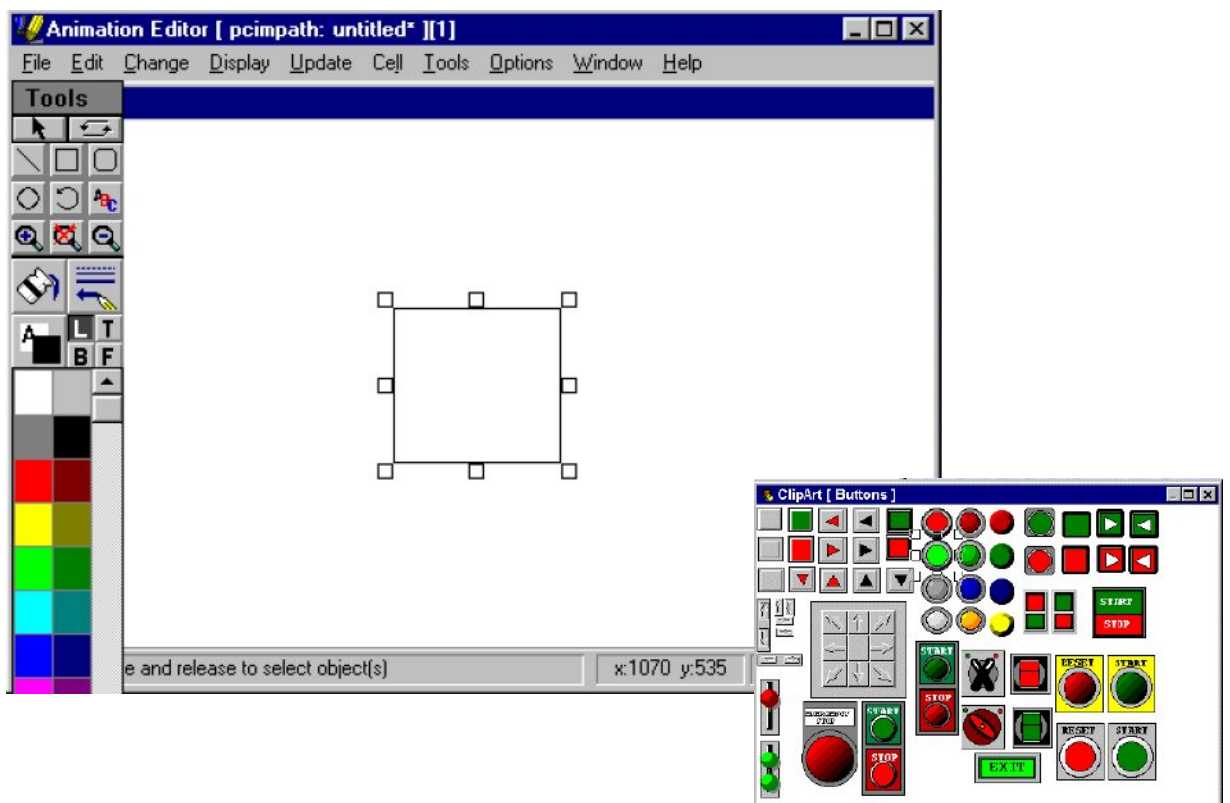


Figura 24. Pantallas de detalles de variables

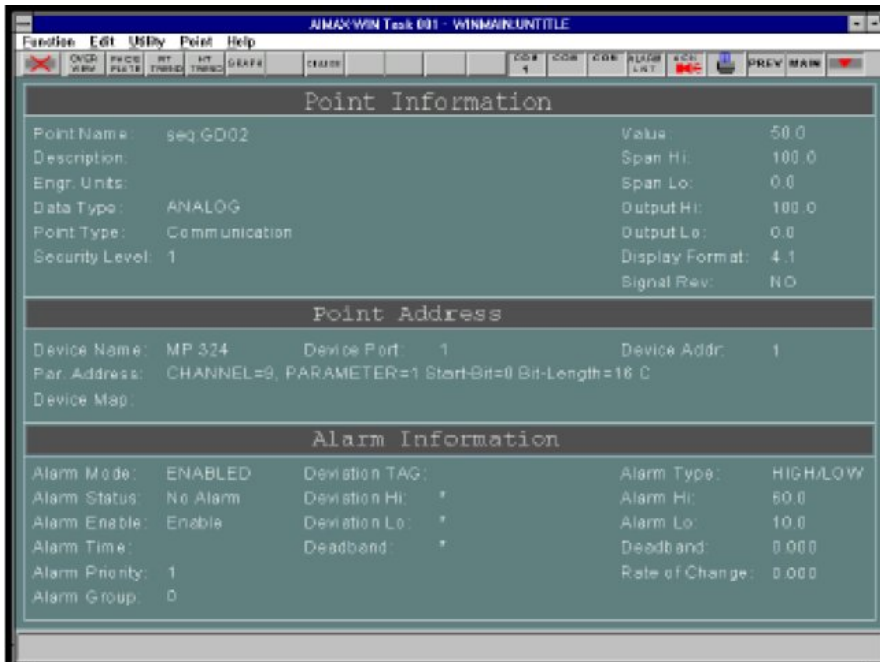


Figura 25. Pantalla de variables

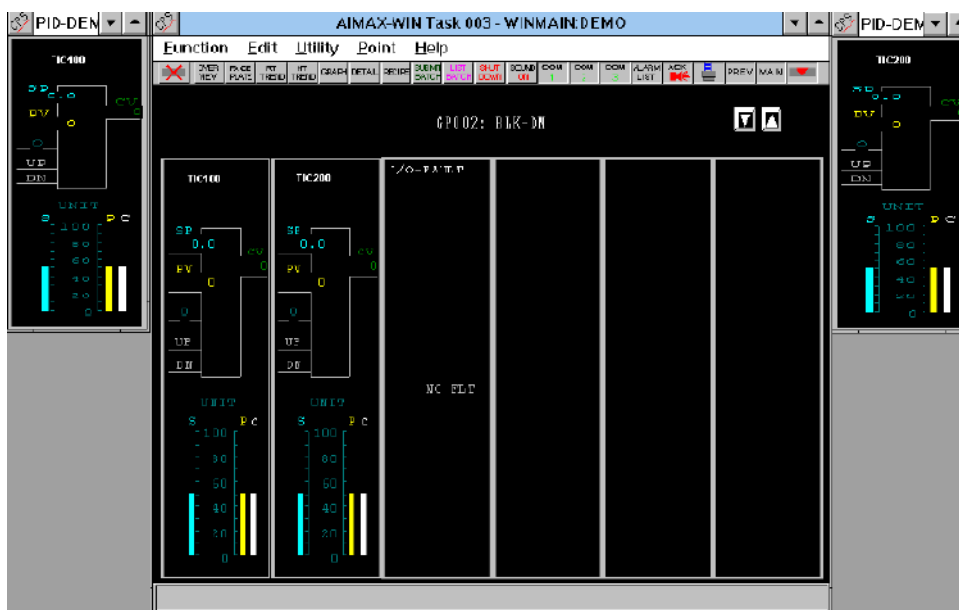
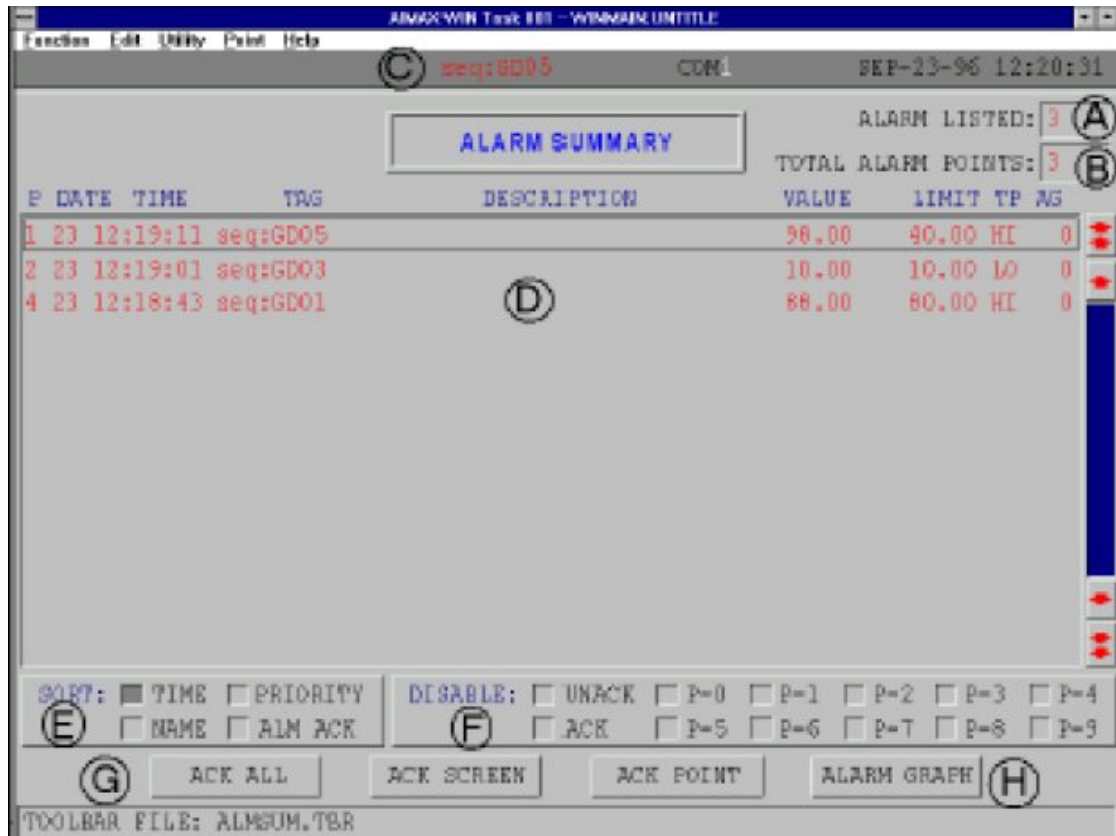
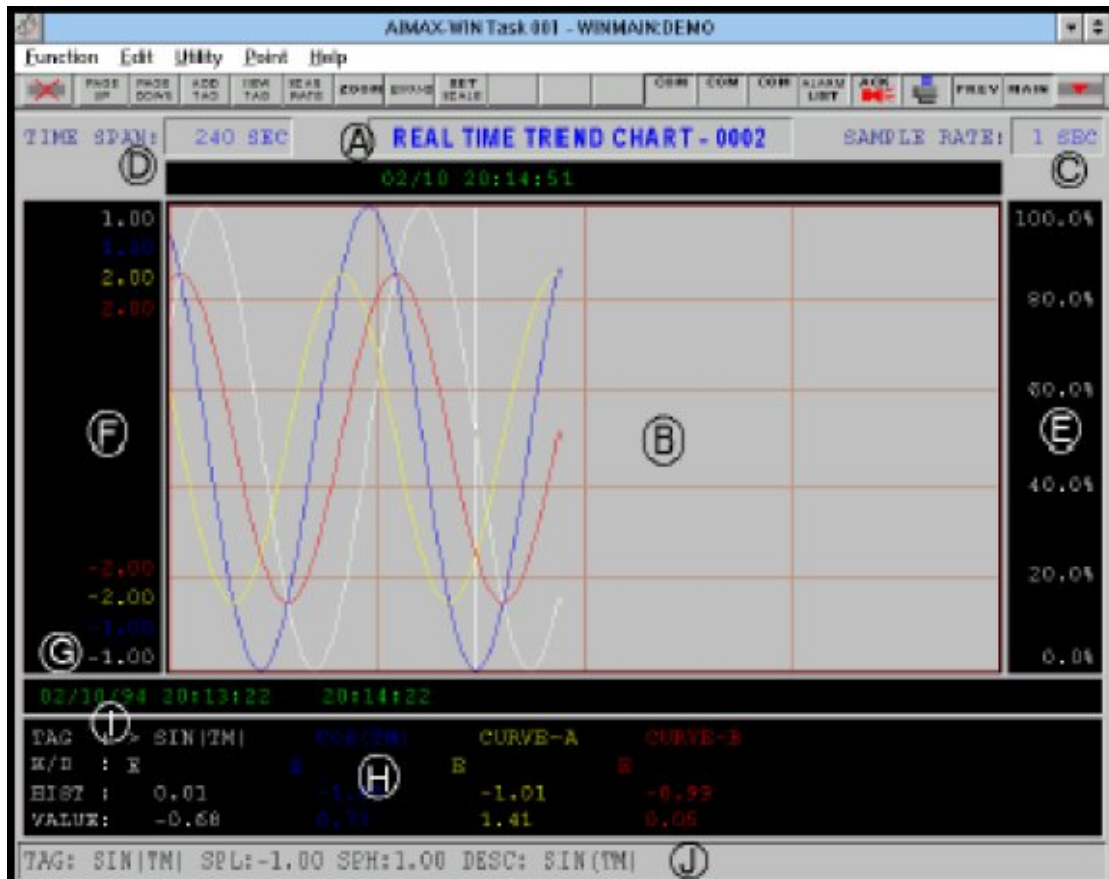


Figura 26. Pantalla general de alarmas



- A - Cantidad de alarmas listadas
- B - Puntos totales de alarma
- C - Ultima alarma
- D - Listado de alarmas
- E - Ordenamiento
- F - Deshabilitadas
- G - Botones de ack
- H - Abre el display asociado con la alarma señalada

Figura 27. Pantalla de trending



- A - Título del grafico
- B - Ventana de trending
- C - Tasa de muestreo
- D - Alcance temporal de la ventana
- E, F - Escalas
- G - Fecha y Hora
- H - Información sobre el punto
- I - Puntero
- J - Barra de estado

Figura 28. Pantalla de reportes

AIMAX-WIN Task 001 - WINMAIN.UNITITLE

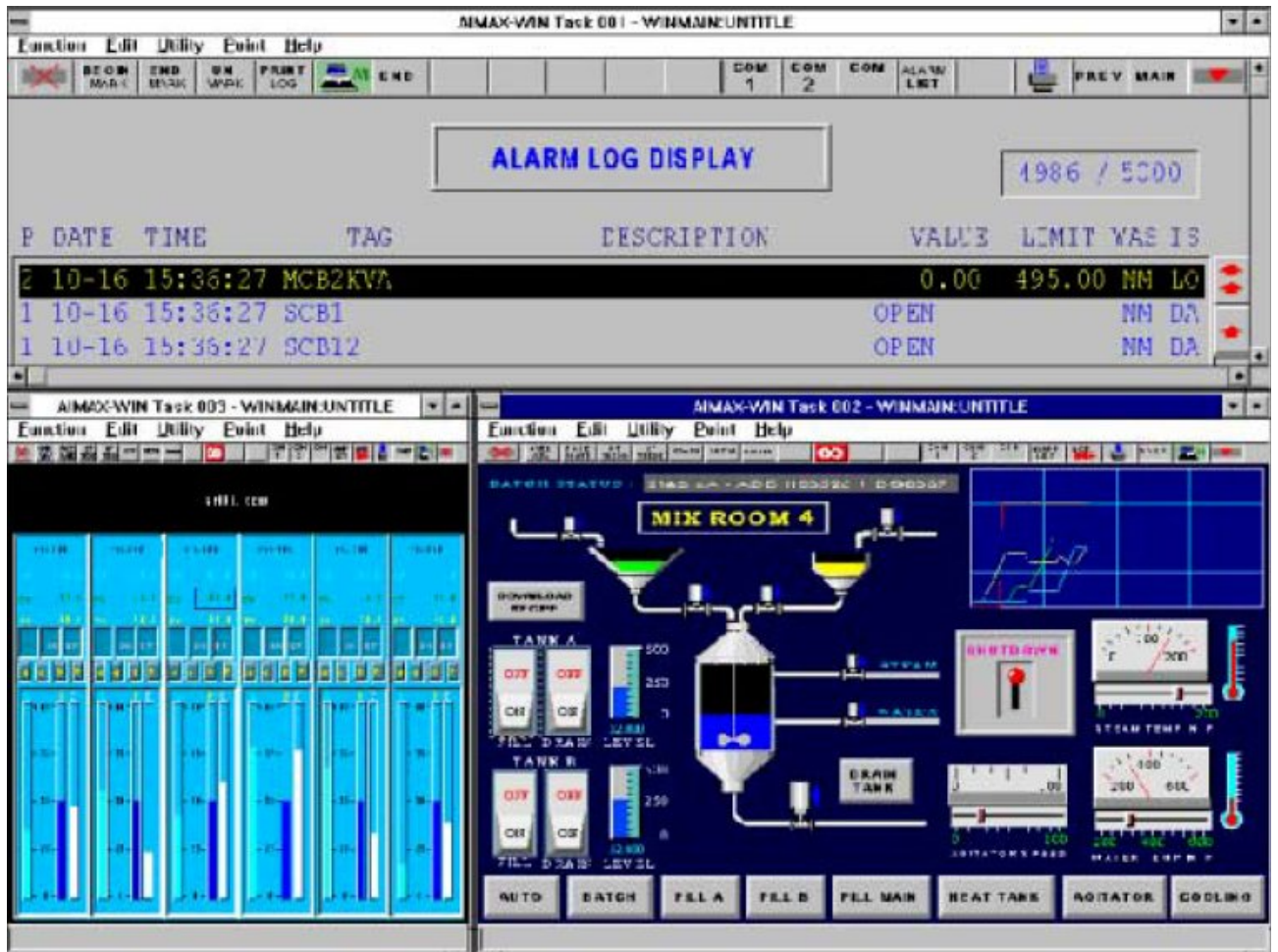
Function Edit Utility Point Help

SCHEDULED REPORTS

TOTAL REPORT NO.: 5 PRINT NOW

REPORT	E/D	MONTHLY	E/D	DAILY	E/D	SHIFT	START	INTV	E/D
> 1	ENABLED	1 08:30	ENABLED	08:00	ENABLED	1	07:30	08:00	ENABLED
2	ENABLED	1 00:00	DISABLED	00:00	DISABLED	3	07:00	08:00	ENABLED
3	ENABLED	1 00:00	DISABLED	00:00	DISABLED	3	07:05	08:00	ENABLED
4	ENABLED	1 08:35	ENABLED	08:05	ENABLED	0	00:00	00:00	DISABLED
5	DISABLED	1 08:40	DISABLED	08:10	DISABLED	0	00:00	00:00	DISABLED

Figura 29. Mosaico de Pantallas



3.3 Desempeño y consideraciones de fiabilidad

Los sistemas de control modernos son construidos usando la tecnología informática. Esto significa que los sistemas consisten de hardware y software, ambos factores afectan el funcionamiento y confiabilidad del sistema. Cuando se considera el software, como mínimo hay cuatro cuestiones principales:

- Modularización del software
- Operación del sistema en tiempo real
- Lenguajes de programación
- Base de datos

El software de un sistema de control moderno es enorme en alcance, debido a la complejidad implicada en las funciones. Cientos de años-hombre se han puesto en los sistemas y el número de líneas de código fuente puede ser contado en millones. La modularización del software es por lo tanto necesaria, de otra forma no es posible para muchas personas trabajar en paralelo en un proyecto o hacer cambios en el software. La modularización es tal vez beneficioso para la confiabilidad de programas de sistemas pero no es un factor necesario que contribuye al funcionamiento.

Un sistema operativo es un prerequisite en cualquier sistema computacional. En un sistema de control hay requerimientos especiales en los sistemas operativos, este debe de ser diseñado para aplicaciones en tiempo real. Esto significa que el sistema operativo debe de soportar respuestas rápidas para eventos externos al computador.

Por ejemplo se presenta la siguiente tabla con muestras de tiempos en que el sistema debe de tomar tales requerimientos:

Tabla IV. Ejemplos requerimientos

Requerimientos de Funcionamiento	Requerimientos de tiempos
- Colectar valores actuales (colectar + procesar + añadir en db + presentar en pantalla)	15 s
- Colectar indicadores	5 s
- Controles (ejecuciones desde las salidas hacia los RTU)	2s
- Inicio de despliegue según selección	1 s
- Completar despliegue de selección	3 s
- Construir y agregar un nuevo despliegue	3 h
Estos tiempos deben de aplicarse para el 95% de todos los casos, 4% puede exceder con un máximo del 30%	

La elección del lenguaje de programación afecta el funcionamiento y confiabilidad, es un factor para el diseñador del sistema de control computarizado y la base de datos es la importancia central en el sistema de control

3.3.1 Sistemas operativos en tiempo real

En un ambiente de tiempo real en un sistema operativo un programa es usualmente llamado tarea o proceso. Hay una leve diferencia entre un programa y una tarea, una tarea es un programa que ha sido provisto con varias estructuras de datos que el sistema operativo reconoce como una unidad ejecutable.

Un sistema operativo en tiempo real se centra alrededor de tareas, el sistema operativo ejecuta diferentes tareas concurrentemente. La función principal del sistema operativo es:

- Almacenar/compartir recursos entre tareas
- Comunicación entre tareas
- Manejo de Input/output (BIOS)
- Manejo de archivos

3.3.2 Tuning del software del sistema

Una vez que un sistema de software grande a sido desarrollado y esta operando, todavía quedan algunos ajustes que pueden realizarse al sistema para mejorar el funcionamiento. El sistema operativo usualmente contiene funciones que hace posible monitorear las acciones que sistema operativo por si mismo. El sistema del computador del operador puede por lo tanto ver como los diferentes recursos, como el CPU, los discos, la memoria, etc. son usados. Si se encuentra que un recurso es pobremente utilizado, el sistema probablemente necesite tuning. Cambiando las prioridades de diferentes tareas es posible afectar el funcionamiento completo del sistema. Para hacer esto se requiere de un gran entendimiento de la forma en que las tareas interactúan en el ambiente de tiempo real.

Las tareas corren como residentes o no residentes. Una tarea residente es establecida como permanente en la memoria principal al arranque del sistema y consecuentemente este no necesita ninguna descarga desde disco sobre la activación. El tamaño de la memoria principal donde las tareas no residentes son cargadas para activación es también crucial para tuning y obtener un funcionamiento óptimo del sistema.

Una dimensión apropiada de los recursos del sistema operativo, como los parámetros de transferencia y buffers I/O, usualmente tiene un gran impacto sobre el funcionamiento del sistema. Otra forma para mejorar el funcionamiento es revisar la frecuencia de ejecución de funciones periódicas. Esto puede realizarse por medio de una investigación mas profunda en los requerimientos de funcionamiento y con experiencia operacional. Muchas de las tareas en el sistema de control son ejecutadas periódicamente y talvez no es necesario que corran frecuentemente.

3.3.3 Mejorando el funcionamiento

La mayoría de métodos que son usados para el mejoramiento del funcionamiento de un computador están basados en el hecho que el acceso a la memoria es el factor limitante. Los mejoramientos son posibles si el acceso a la memoria es minimizado o evitado y también si el acceso a la memoria es hecha mas eficientemente o en paralelo.

3.3.3.1 Longitud de palabra mas grande

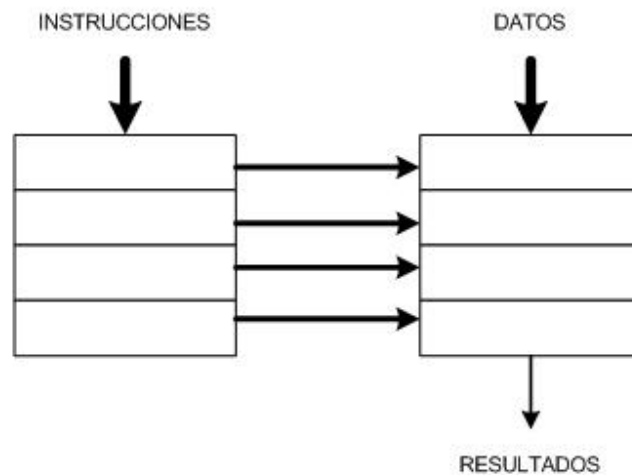
Este es talvez la mas obvia forma para mejorar el rendimiento de procesamiento: si mas datos son traídos y almacenados para cada acceso de

memoria, la velocidad del computador se incrementa. De esta forma, es necesario que la longitud de palabra sea más grande en todos los pasos: registros del CPU, bus de datos y memoria.

3.3.3.2 Pipelining

Este método es mejor ilustrado con la siguiente figura:

Figura 30. Pipelining



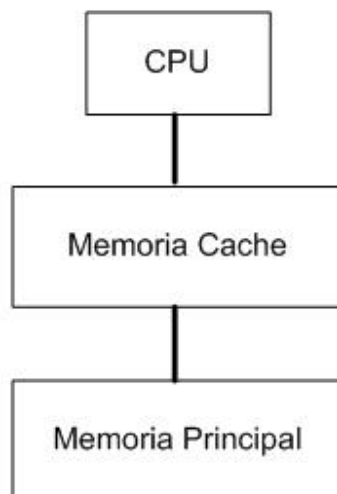
La idea de pipelining es procesar varias instrucciones en paralelo. Mientras una instrucción se está ejecutando, la siguiente está siendo traída desde la memoria y el resultado del anterior se almacena en memoria. El pipelining requiere una gran cantidad de controles lógicos que hace al CPU muy complejo.

3.3.3.3 Memoria Cache

La memoria cache es pequeña, típicamente entre 4 y 64 kbytes, además es muy rápida, entre 2 y 6 veces más rápida que la memoria principal regular,

que funciona como un buffer entre la memoria principal y el CPU. Los espejos de la memoria cache es la parte donde actualmente trabaja la memoria principal. La memoria cache mejora la velocidad por que la mayor parte del tiempo de la siguiente instrucción estará en el cache (90-95% del tiempo) y si este no es el cache es actualizado replicándolo a espejos en otra parte de la memoria principal. Cuando el CPU escribe al cache, el cache retornara el dato correspondiente a la memoria principal. El principio de la memoria cache puede ser descrita por la siguiente grafica:

Figura 31. Principio de la memoria cache



3.3.3.4 Intercalación de Memoria

La memoria principal puede ser organizada en varios módulos, típicamente 16 o 32, de forma que direcciones de memoria consecutivos están en diferentes módulos. Si la interfase entre el CPU y estos módulos de

memoria es diseñado para que el CPU pueda direccionar varios módulos de memoria simultáneamente, es posible realizar varias operaciones de escrituras/lecturas concurrentes. La intercalación de memoria trabaja debido al hecho que la mayoría del tiempo las celdas de memoria que son diseccionadas secuencialmente estarán en posiciones de memoria consecutivas.

3.3.3.5 Hardware para punto flotante

En un computador simple las operaciones matemáticas (multiplicación, suma, etc.) de números con punto flotante son usualmente realizadas por el software. Esto significa que estas instrucciones son un poco lentas. Estas instrucciones pueden ser realizadas por hardware especial: procesadores con punto flotante. Estas unidades son normalmente incluidas en los computadores que son usados para aplicaciones de control.

3.3.3.6 Arreglo de procesadores

Algunos tipos de algoritmos matemáticos, por ejemplo multiplicación de matrices e inversas, pueden ser estructurados de una forma paralela para permitir un procesamiento más rápido. Los arreglos de procesadores son dispositivos altamente especializados que pueden realizar tales operaciones. Estos procesadores especiales son conectados a un host que maneja todas las demás operaciones. Para tareas particulares como un calculo FFT (Fast Fourier Transform) un arreglo de procesadores puede incrementar la velocidad de ejecución. Estos no son todavía muy comunes en las aplicaciones de sistemas de control.

3.3.3.7 Base de Datos

Los sistemas administradores de bases de datos han sido desarrollados para un gran número de aplicaciones comerciales en todos los tipos de industrias, incluyen la industria energética. Las aplicaciones de bases de datos para sistemas de tiempo real, como los sistemas de potencia, no han sido desarrolladas del mismo grado. Desde que el volumen de datos a procesar en las aplicaciones de control centrales ha ido continuamente incrementándose, ha sido necesario incluir sistemas de bases de datos en el diseño de tales sistemas.

Debido a la introducción de la base de datos en el diseño, se obtiene un número de ventajas, que pueden ser resumidas en:

- Estructuras organizadas de datos, expresados en archivos.
- Datos almacenados con muy poca redundancia, en un solo lugar, con flexibilidad en la selección del medio de almacenamiento.
- Independencia entre los datos y los programas.
- El acceso a los datos es hecha por una rutina de acceso central, proveyendo seguridad de los datos.

Por la base de datos muchas cosas son independientes de cada otra, los programas pueden ser diseñados independientemente de la disposición exacta de los datos y estructuras de datos pueden ser definidas independientemente de los programas que los manipularan. Esto significa que la implementación de hardware puede ser cambiada sin ningún efecto en los programas que accedan a los datos.

Estos son algunos de los requerimientos de un sistema de base de datos para aplicaciones de tiempo real:

Acceso Lógico: Los programas deben de ser capaces de escribir/leer en la base de datos de una forma estandarizada, esto significa un acceso lógico a la base de datos.

Protección: La base de datos se debe de proteger por si misma contra errores de hardware y errores de programas.

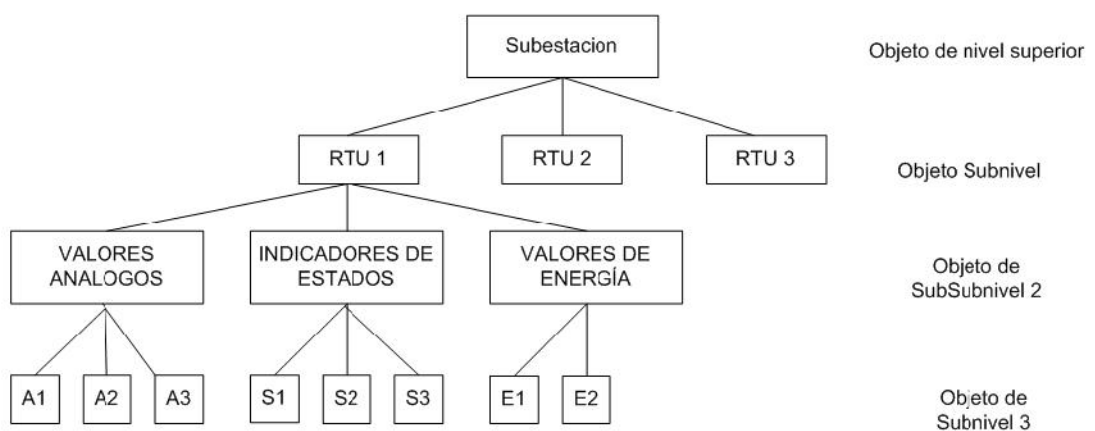
Conversión: Los datos deben de convertirse automáticamente y escalarse a unidades requeridas por el consultor.

Múltiples bases de datos: Debe de ser posible múltiples definiciones de la base de datos

Velocidad: El acceso a la base de datos debe de ser rápido.

La estructura lógica de la base de datos es de tipo jerárquico donde debe pensarse como un árbol donde existen relaciones o conexiones entre los objetos de un nivel con los objetos de un nivel más alto:

Figura 32. Jerarquía lógica de la estructura de la base de datos



3.3.4 Fiabilidad del software

La confiabilidad del software ha obtenido más atención en los últimos años, han sido propuestos modelos para medir y administrar la confiabilidad del software.

Hay mucha similitud entre el concepto de fiabilidad de hardware y fiabilidad de software, pero la principal diferencia reside en el mecanismo que causa la falla: mientras que los errores de hardware resultan siempre de desgaste y otras causas físicas, los errores de software son causados por faltas en el diseño.

Se pueden dividir los errores de software en dos amplias clases:

- Errores funcionales o de diseño
- Errores de programación

Las herramientas han sido desarrolladas para ayudar a los programadores a encontrar errores en el software que escriben. Muy a menudo una falla de software resulta cuando el programa es expuesto para un ambiente para el cual no ha sido probado, partes que no han sido ejecutadas son ejecutadas.

Maneras de evitar errores de software:

- El software debe de estructurarse en una forma modular en gran grado, en todos los niveles en el sistema.
- Lenguajes de alto nivel facilitan el diseño y las pruebas de fiabilidad del programa.
- Todo el software debe ser documentado de forma sistemática.
- El software debe de evaluarse de forma sistemática.

4. IMPLICACIONES ECONOMICAS DE IMPLEMETAR SCADA

4.1 Costos versus Beneficios

El diseño de un sistema SCADA es un proceso iterativo, cada crecimiento incremental en los beneficios del sistema (capacidades) crea un correspondiente pero no lineal incremento en los costos.

Si la incorporación que se hará de un sistema SCADA no tiene la infraestructura necesaria para construirla, el costo inicial será alto. El MTU es un costo alto del sistema, así también los links de comunicación, estas dos partes deben de ser surtida antes de poder agregar cualquier capacidad mas al sistema, el gran potencial de los costos de una o dos malas decisiones hechas en una fase inicial del desarrollo del sistema puede volver exorbitante los costos, de esta manera se recomienda también hacer un análisis de valor del dinero en el tiempo, en la misma forma en que se puede calcular el valor presente de una inversión hecha en el pasado, se puede determinar el valor presente de un costo que debe de pagarse en el futuro. Para entender tal concepto se propone los siguientes ejemplos:

Ejemplo 1

Como parte del desarrollo del sistema SCADA, sabemos que tenemos q pagar \$200,000 para poner fibra óptica a tres RTUs. Este pago se realizara dentro de dos años, con un 10% de interés, ignorando los impuestos, cual es el valor presente del costo de implementar la fibra óptica? (El valor presente de un costo futuro puede pensarse como una cantidad de dinero que debe de ser invertido ahora para cumplir con los costos futuros).

Utilizando la formula de interés común, $A = P \times (1 + i)^t$, donde:

A = Monto acumulado

P = monto principal

i = tasa de interés / unidad de tiempo (en decimal)

t = tiempo

Se sabe que el monto acumulado es \$200,000, la tasa de interes es 0.10 por año, y el tiempo es dos años. La ecuación se despeja quedando de la siguiente manera:

$$P = A / (1 + i)^t$$

$$P = \$200,000 / (1 + 0.10)^2$$

$$P = \$165,289$$

Este es el monto de dinero que se debe de presupuestar ahora a 10% de interés para tener \$200,000 para cuando necesitemos pagar la fibra óptica.

El valor presente de los beneficios que se tendrán por implementar un sistema SCADA puede calcularse de manera similar:

Ejemplo 2:

Las operaciones de ingeniería para una compañía de generación eléctrica estima que una mejora en la utilización de las instalaciones puede ser posible por un sistema SCADA haciendo innecesario comprar \$300,000 de poder eléctrico cada año a una red de potencia electrica vecina. El aplazamiento de esta compra de poder puede ser posible por ocho años desde ahora. La tasa de interes es del 12%, ignorando impuestos, se tomara dos años en la construccion del sistema SCADA, cual es el valor presente de este beneficio ?

Para el primer año, el sistema SCADA no a sido construido, no hay beneficio.

Para el segundo año, aun no ha terminado la construcción, no hay beneficio.

Para el tercer año, \$300,000 de beneficio, haciendo un promedio a mitad de camino durante el año:

$$PV = A / (1 + i)^t$$

$$PV = \$300,000 / (1.12)^{2.5}$$

$$PV = \$225,983.$$

Para el cuarto año, $PV = \$300,000 / (1.12)^{3.5}$

$$PV = \$201,771.$$

Para el quinto año, $PV = \$180,152$

Para el sexto año, $PV = \$160,850$

Para el séptimo año, $PV = \$143,616$

Para el octavo año, $PV = \$128,229.$

De la misma manera que el valor de los beneficios recibidos en el futuro se debe de descontar por un número relacionado a los intereses, el valor futuro de algunos de estos artículos deben de aumentarse por un número relacionado con la inflación. Tarifas de trabajo, por ejemplo, pueden ser proyectadas para incrementarse con el tiempo de una manera mas o menos predecible. El costo de la productividad puede ser proyectada para incrementar o decrementar en función de la demanda demográfica, suministros naturales y muchos otros factores. Al diseñar el sistema SCADA no se espera usualmente originar estos números, pero se puede estar seguro que tendrán un efecto en las decisiones económicas del mismo.

4.1.1 Costos de Capital

El costo de capital es la primera consideración cuando la palabra costo es mencionada. Estos son usualmente fáciles de cuantificar, estos costos normalmente incluyen trabajo de instalación, servicios técnicos especializados, almacenamiento y transporte, a continuación una lista de lo que debe de incluirse como capital para un proyecto SCADA:

Tabla V. Capitales SCADA

Posición	Capitales
Central	Diseño/construcción ingenieril MTU (master terminal unit) Cuarto de controles con iluminación, aire acondicionado, calefacción y ventilación Seguridad (puertas con cerraduras de botones) Muebles Suministro ininterrumpido de energía (UPS) Equipo de comunicaciones (incluyendo radios, módems, antenas y torres)
Remoto	Diseño/construcción ingenieril RTU (remote terminal unit) Suministro ininterrumpido de energía (UPS) Equipo de comunicaciones

	(incluyendo radios, módems, antenas y torres) Sensores y actuadores especiales Interconexiones del RTU a los sensores y actuadores Construcción para RTU/UPS/equipo de comunicaciones, iluminación, calefacción, aire acondicionado, ventilación
Entre central y remoto	Debe de incluirse contribuciones de capital para la renta en la utilización de las líneas de comunicación Debe de incluirse repetidores para las estaciones de radio (si es radio propia) Debe incluirse costos de la compra e instalación (si se es propietario del cable de fibra óptica o de cable)

4.1.2 Costos de Entrenamiento y Mantenimiento

Por alguna razón los costos de entrenamiento y mantenimiento son descuidados durante el ciclo económico del sistema, es cierto que los costos de entrenamiento no son altos, pero existen, de no incluirse el entrenamiento en la planeación creara perdidas de calendarizacion de operaciones. Los costos agregados por el instructor y el entrenamiento deben de negociarse antes de seleccionar algún sistema. Los costos por el tiempo perdido mientras los

operadores conocen el sistema son reales y deben de incluirse en el análisis costo-beneficio.

Las tareas de mantenimiento empiezan luego que las tareas de configuración de los operadores, por esta razón, su entrenamiento se aplaza, pero si los técnicos de mantenimiento son involucrados activamente en la instalación, su entrenamiento puede ser previsto con anterioridad. La mejor ubicación para los cursos de entrenamiento dependerá del número de personas que deben de ser entrenadas y el costo de viajar hacia las instalaciones. Regularmente programando cursos internos se trabajara mejor solo si pocas personas serán entrenadas. Teniendo al instructor viajando hacia el lugar será menos costoso que tener a diez trabajadores viajando hacia otro lugar. El aprendizaje en el entrenamiento será menos efectivo si son interrumpidos por problemas operacionales, estos ocurrirán si el entrenamiento se hace en las instalaciones de trabajo.

Los costos de mantenimiento son lo suficientemente altos como para ser incluidos en las evaluaciones económicas, en la vida del sistema SCADA, la mayoría de los costos de mantenimiento serán por la calibración, reparación y reemplazo de artículos mundanos como equipos de medición de flujo, analizadores y actuadores. Las terminaciones de conexiones que forman todos estos componentes a un sistema son el mayor origen de los costos de mantenimiento. Debido a que estos sistemas contienen gran cantidad de partes movibles como los actuadores, se rompen o se vuelven defectuosos fácilmente, el punto es de que por la gran cantidad de estos, el mantenimiento se vuelve significativo. Las actualizaciones de software también contribuyen a los costos de mantenimiento. Con el equipo de diseño y manufacturado electrónico que no tiene partes movibles puede esperarse que sufra una alta “mortalidad infantil”, ósea que fallara al inicio de su vida y luego se asentara para tener un

bajo mantenimiento, esta es la razón por la que la mayoría de la industria de equipos electrónicos es entregado solo luego de un extenso periodo de pruebas. Anticipando esta mortalidad infantil, se puede planear tener un control mayor en el mantenimiento de estos por una compañía de técnicos y de control extra por personas contratadas específicamente para este propósito, se requerirá también contratar a alguien para trabajos especiales, como el mantenimiento del radio y de la fibra óptica. Estos costos deben de incluirse en los cálculos económicos para el proyecto.

4.1.3 Costos de Operación de SCADA

Además de los costos de mantenimiento, los costos de operación variaran con el tamaño de el sistema, en los sistemas grandes, los costos de energía y consumibles en la forma de reportar en papel y medios de backup son insignificantes. El coste en mano de obra o en la forma en que se maneja el personal puede ser el coste de operación más caro. El tamaño del staff de operaciones dependerá del tamaño del sistema y la complejidad como las filosofías de operación del sistema. Algunos sistemas de irrigación simples pueden operar esencialmente con poco personal, con un solo operador chequeando en turnos de ocho horas. Los sistemas grandes, en general los de servicios de generación y transmisión eléctrica suelen requerir seis o mas operadores con dos o tres turnos por día.

Para los sistemas que rentan servicios de telecomunicaciones, el costo del arrendamiento debe de ser factor dentro de los análisis económicos, estos costos suelen representar el costo de operación más grande, de esta forma los costos de operación deben de incluirse en las fases de planificación.

4.1.4 Beneficio: Reducción en los costos de Capital

Estas oportunidades de reducción en costos de capital son bastante perseguidas. Para muchos procesos a realizar por el sistema estas reducciones simplemente no existen, para otros el valor de estas reducciones de estos costos de capital puede fácilmente compensar el costo entero de capital del sistema SCADA. El proceso de identificar oportunidades para la reducción de costo de capital debe de ser realizado por un equipo multidisciplinario que incluya personal de operaciones, construcción y mantenimiento.

En la siguiente tabla se lista algunos ejemplos de reducción de costos en los proyectos con un orden de magnitud de capitales que pueden ser ahorrados:

Tabla VI. Reducción de costos

Industria	Actividad	Ahorro en dólares estadounidenses
Alta mar	Eliminar residencia sobre la plataforma	\$1,000,000
Gasoductos	Eliminando la residencia en la estación de compresión.	\$300,000

4.1.5 Beneficio: Reducción en los costos de operaciones de procesos

Esta categoría de beneficios incluye el número mas alto de actividades, la mayoría de poco valor comparado con los costos de capital revisados anteriormente, cuando estos se agregan se provee el incentivo suficiente para

justificar la instalación del SCADA. Un equipo multidisciplinario con una fuerte base en operaciones es el método más efectivo para identificar y cuantificarlos. El tiempo que utiliza el personal de operaciones viajando de y para un sitio representan una gran cantidad de valor. Los beneficios que SCADA ofrece en reducir este coste en tiempo será mayor dentro de mas distantes estén los sitios que tengan solo unos pocos procesos de medición y/o controles en cada sitio. Pero además de ahorrar en salarios, las especialidades de las operaciones también identifican otros beneficios de SCADA. Este reduce los costos de capital y mantenimiento de vehículos, tiempos extras pagados por llamadas fuera de horario normal, costos de mantenimiento de caminos, y un montón de otras cosas que se les puede aplicar a la industria en facilidades que se evalúan.

4.1.6 Beneficio: Eficiencia y facilidad mejorada

Grandes cantidades de capital son gastados en facilidades que dependen de SCADA, hidroeléctricas o estaciones generadoras eólicas de energía, plataformas de petróleo y estaciones de compresión de gas tienen costos de capital en millones de dólares. Este dinero a sido invertido con el entendimiento que el SCADA proveerá un retorno mientras este operando, maximizando la cantidad de tiempo en ejecución de un proceso siendo uno de los grandes beneficios que el sistema SCADA puede proveer.

La maquinaria en un campo terrestre de extracción de petróleo, es visitado una vez al día, si este para de producir a los cinco minutos de que el operador se retira luego de la visita, deben de pasar otras 24 horas para que la falla sea descubierta. Una falla en la estación de compresión de gas puede deducirse debido a cambios en la presión, pero puede pasar mucho tiempo antes de que el operador pueda manejar hacia la estación y arreglar el problema. El

monitoreo continuo que se puede hacer posible por medio del SCADA podría identificar las fallas inmediatamente, minimizando el impacto.

Estos son el tipo de eficiencia y facilidad mejorada que la implementación de un sistema SCADA puede realizar. Con el trabajo coordinado de operadores, mantenimiento y equipos de diseño de ingeniería se pueden encontrar aun mas.

4.1.7 Implicaciones de los impuestos

Cuando se hacen cálculos para un proyecto real, no se puede ignorar el rol de los impuestos en las decisiones económicas del sistema. Debido a que cada beneficio y cada costo en la evaluación económica tiene su propio impuesto aplicado, se necesitaran los servicios de una persona especialista en los impuestos locales para la industria en cuestión.

5 SISTEMA SCADA UTILIZADO EN AMM (Administración del Mercado Mayorista)

5.1 Función / Rol

Entre las funciones del sistema en AMM se encuentra la coordinación de la operación en tiempo real del Sistema Nacional Interconectado *SNI* y de las Interconexiones Internacionales, así como la integración de servicios complementarios necesarios para mantener el balance entre generación y demanda y para preservar la seguridad y continuidad del servicio.

AMM cumple dicha función por medio del Centro de Despacho de Carga *CDC*, el cual tiene dos modos principales de operación según las condiciones, operación normal y condición de emergencia, teniendo la autoridad para ordenar la desconexión de carga, emitir órdenes de arranque y parada de unidades generadoras e instruir a los Participantes del Mercado Mayorista para que realicen las maniobras que determine necesarias en el cumplimiento de sus funciones, tareas que se realizan gracias a los informes proporcionados por los sistemas que conforman dicho despacho, dentro de estos el SCADA.

Las funciones operativas pueden resumirse en las siguientes:

- Procurar la continuidad del suministro de energía eléctrica.
- Supervisión y control del estado del *SNI* para verificar que las potencias, voltajes, intercambios, etc. se ubiquen dentro de sus límites admisibles. En general velar por la calidad del suministro de energía eléctrica.
- Programar el despacho de unidades generadores bajo un criterio económico, minimizando el costo de la operación del *SNI*.
- Coordinación, supervisión, control, ordenamiento o autorización de maniobras en el *SNI*.

- Optimización de la generación hidrotérmica, tomando en cuenta restricciones operativas y de combustibles, contratos de compra-venta de energía eléctrica, consideraciones ambientales, condiciones hidrológicas y usos múltiples del agua.

El software de SCADA cumple con las siguientes funciones básicas:

- a) adquisición de datos
- b) control supervisor
- c) interfaz hombre-máquina,
- d) procesamiento de alarmas
- e) comunicación con otros centros de control
- f) secuencia de eventos

5.1.1 Capacidad

El sistema tiene capacidad suficiente para manejar como mínimo el siguiente volumen de datos:

- Subestaciones: 100
- Señalizaciones dobles: 10.000
- Señalizaciones simples: 30.000
- Mediciones: 3.000

5.1.2 Adquisición de datos

Las tareas de adquisición de datos incluyen encuesta de equipos remotos, detección de fallas en las comunicaciones, codificación y

decodificación de mensajes, restauración de comunicaciones y control y supervisión de errores. Los datos pueden ser barridos en diferentes frecuencias o demandados por programas o por requerimiento del operador.

El número de ciclos de barrido, la frecuencia de cada uno y los equipos remotos encuestados son programables por el responsable de la programación a través del sistema de edición de base de datos.

La secuencia de encuesta a equipos remotos se puede originar por:

- a) Inicialización del sistema
- b) Periódicamente
- c) Por pedido del operador
- d) Puesta en servicio de un equipo, canal o controlador de comunicaciones

La presencia en el sistema de distintos tipos de RTUs y protocolos de comunicaciones es completamente transparente para el operador. Todas las acciones de control, pantallas, alarmas, protocolizaciones y procedimientos de operación son idénticas.

5.1.3 Comunicaciones con las RTUs

Las comunicaciones con las RTUs usan técnicas de encuestas con todos los barridos y mandos iniciados por la estación maestra (MTU).

El software y el hardware asociados detectan los siguientes tipos de errores:

- a) No respuesta: falla en la respuesta a la interrogación o en el completado de una función.
- b) Respuesta no válida: los datos recibidos son inconsistentes con los requeridos.
- c) Mensajes con errores.

Mediante funciones de edición de bases de datos se pueden definir el número de intentos de comunicaciones libre de errores antes de proceder a la emisión de alarmas. El diálogo con las RTU se realiza a través de protocolos DNP 3.0.

5.1.4 Comunicación con otros centros de control

Para la vinculación con otros centros de control se utiliza el protocolo ICCP, en un todo de acuerdo con la norma ISO/IEC 60870-6.

En todos los casos el software de gestión de comunicaciones es capaz de restablecerse automáticamente luego de una interrupción del enlace.

En el caso de enlaces redundantes, el sistema es capaz de detectar la caída del enlace de reserva.

5.1.5 Errores de telemetría de RTUs

Si las comunicaciones con una RTU estuvieran caídas (completa o parcialmente), todos los estados y mediciones afectados por esta condición tienen una bandera que los identifique. A tal efecto en las pantallas se identifica su estado como "no actualizado" mediante un cierto código (color, etc.).

El sistema intenta repetidamente establecer la comunicación con la RTU en forma automática. Cuando se restablecen las comunicaciones, la identificación de punto "no actualizado" desaparece, mostrándose el nuevo valor telemedido.

5.1.6 Tipos de información

Los tipos de información a procesar son los siguientes:

a) Información de 1 bit o "unipolar"

Corresponde a:

- señalizaciones
- alarmas permanentes e impulsivas.

b) Información de 2 bit o "bipolar"

Corresponde a estados de los aparatos de maniobra.

- c) Información de valores de medición
- d) Información de valores integrados
- e) Información de eventos con horario de ocurrencia

En el caso de estados y alarmas de 1 y 2 bit puede ser que la información venga acompañada por el horario de ocurrencia de eventos en el origen (SOE).

f) Indicaciones, alarmas e información relativas al propio CDC.

5.1.7 Sincronización horaria

El sistema permite la sincronización horaria de los relojes de las RTUs. Estos mensajes son transmitidos por el CDC y contienen el año, mes, día, minuto, segundo y milisegundo.

La transmisión es periódica a través de los canales de comunicación con las RTU. Se utiliza para la fecha el formato dd/mm/aa y para la hora, el formato hh:mm:ss:mmm

5.1.8 Mandos

El diálogo con el operador desde las consolas permite el envío de valores de consigna para el AGC. **Este es el único mando habilitado para el CDC.** Este diálogo incluye verificaciones de validación.

El sistema posibilita la partición o segmentación de la red en áreas de responsabilidad y dirigir los eventos y registros a la consola del operador responsable del área.

La orden para ejecución de controles se origina mediante una secuencia de pasos múltiples de acciones del operador, de manera tal de reducir la probabilidad de ocurrencia de acciones no deseadas.

5.1.9 Supervisión de control

Los mandos de control iniciados desde una consola de operador tienen las siguientes validaciones:

- a) la consola está autorizada para la operación
- b) no hay bloqueo de control en el objeto a controlar
- c) no hay otro control en proceso para dicho objeto
- d) la RTU y los canales de comunicación están operables.

Para todas las funciones la pantalla se actualiza de manera tal que refleje el estado real del objeto controlado.

La correcta operación de un elemento se determina por la supervisión de su estado o por el valor correspondiente durante un tiempo determinado (timeout). Una vez vencido el tiempo asignado, si el estado o el valor no respondieran a lo requerido por el operador, se genera una alarma que informe sobre la falla de la operación.

5.1.10 Procesamiento de valores de medida

Comprende los valores de medida adquiridos, ingresados manualmente o calculados. Su procesamiento es efectuado por la estación maestra antes de ingresarlos a la base de datos correspondiente y consiste en:

- a) conversión a unidades de ingeniería
- b) comparación con límites,
- c) procesamiento de zona nula.

La representación binaria de las mediciones analógicas se convierte en unidades de ingeniería, admitiendo algoritmos de conversión lineal y no lineal. Para los contadores de pulsos las unidades de ingeniería deberán obtenerse multiplicando el número de pulsos por el factor de escala.

Deben usarse límites operativos para definir los rangos de operación normal de las instalaciones. Los valores de medición son comparados con los límites que se asigne. Esta comparación deberá llevarse a cabo tanto en los valores de medida adquiridos como en aquellos provenientes de entradas manuales o de cálculos. Como mínimo se disponen de dos pares de límites por cada valor de medida, los que básicamente deberán usarse para identificar condiciones de advertencia y de emergencia para el valor supervisado.

5.1.11 Procesamiento de valores calculados

Los valores calculados se obtienen a partir de valores adquiridos, entradas manuales o valores calculados previamente. Los cálculos se realizan de acuerdo con ecuaciones predefinidas, siendo posible la utilización de operaciones aritméticas, comparaciones, operaciones lógicas y operaciones funcionales (max, min, sort, round, abs, sign, sen, cos, tg, etc.).

Los valores obtenidos de cálculos se pueden almacenar en la base de datos así como también valores constantes en la base de datos para su uso en cálculos.

El proceso de cálculo puede iniciarse por los siguientes motivos:

- a) en un momento preestablecido del día
- b) periódicamente,
- c) ante la ocurrencia de un evento,
- d) como resultado de otros cálculos,
- e) por pedido del operador.

La definición de las ecuaciones de cálculo pueden llevarse a cabo en forma adecuada mediante un editor incluido, en el conjunto de funciones del administrador de base de datos.

Los operadores pueden definir operaciones elementales en línea (suma, resta, multiplicación, división, funciones trigonométricas, potenciación, radicación, etc.) entre valores contenidos en la base de datos y/o suministrados por ellos, obteniendo la actualización del resultado en la pantalla.

5.1.12 Eventos a registrar

Las alarmas notifican al operador sobre la ocurrencia de ciertos eventos considerados de importancia, tales como:

- a) cambio del estado de algún punto
- b) violación de límite de un punto analógico
- c) retorno a normal de un punto en alarma
- d) falla en la operación de un equipo sobre el que se haya enviado un mando
- e) falla en el hardware del sistema
- f) falla o problemas en vínculos de comunicaciones,
- g) pedido de una lista de alarmas desde programas de usuario.

5.1.13 Funciones principales del procesamiento de alarmas

El subsistema de procesamiento de alarmas permite:

- a) presentar la información de una manera clara y concisa mediante varios tipos de pantallas y señalizaciones audibles y visuales
- b) aceptar y/o borrar alarmas desde varias pantallas

- c) que las alarmas permanezcan en las computadoras primaria y de respaldo, de manera que no se pierdan durante re arranques o conmutación de roles
- d) adaptación de la presentación de alarmas a las necesidades del usuario (presentación en listas, señalización audible, luminosa, protocolización con colores o tipos de letras para individualizarlas fácilmente según su clase o prioridad, reconocimiento, borrado).

5.1.14 Funciones accesorias del procesamiento de alarmas

Están disponibles las siguientes funciones:

- a) Todas las alarmas del sistema están contenidas en listas que se actualizarán dinámicamente
- b) El ordenamiento de las listas son cronológicas según horario de recepción o aparición o según horario real de ocurrencia, si la transmisión se efectuara con la hora real
- c) Definición de alarmas por área de procesamiento y prioridades, de manera de permitir una rápida y efectiva atención del operador.
Los atributos a definir incluyen el color y la condición de parpadeo, anunciación audible y visual, listas y protocolizadores de destino, tipo de reconocimiento y procesamiento especial al producirse el retorno a normal
- d) Existe una zona o ventana por monitor donde muestra las alarmas no reconocidas más recientes correspondientes al área de responsabilidad del operador de la consola
- e) Lista general de alarmas no aceptadas por el operador, con capacidad mínima de 400 alarmas, incluyendo la totalidad de las alarmas provenientes del SNI y las detectadas en el CDC. El

ordenamiento de esta lista también es cronológico según horario de recepción o aparición o según horario real de ocurrencia, si la transmisión se efectuara con la hora real.

- f) Lista de alarmas no aceptadas por planta, que contiene la totalidad de las alarmas provenientes de esa planta
- g) Lista general de alarmas aceptadas, con capacidad mínima de 400 alarmas, que contiene la totalidad de las alarmas que hayan sido reconocidas de las listas no reconocidas y que continúen en estado de alarma.
- h) Lista de alarmas aceptadas por planta, que contiene la totalidad de las alarmas reconocidas provenientes de esa planta.
- i) Listas de condiciones anormales por planta, que contienen identificación de alarma, desactivado, dato entrado en forma manual, con error de telemetría, control inhibido, etc., con sus códigos de colores.
- j) Lista de alarmas de equipamiento, que contiene todas las alarmas asociadas con el equipamiento en sí y ciertas alarmas detectadas dentro de la programación. El reconocimiento de una alarma dentro de esta lista deberá implicar su eliminación, al igual que la de toda alarma idéntica a la anterior
- k) Todas las listas de alarmas son paginables y desplazables.
- l) El operador puede reconocer/borrar páginas completas de alarmas desde las listas de alarmas (no reconocidas y reconocidas).
- m) El operador puede reconocer/borrar alarmas en forma individual desde las listas de alarmas (no reconocidas y reconocidas).
- n) El operador puede reconocer alarmas individuales o para todos los puntos desde pantallas de esquemas unifilares.
- o) La anunciación de alarmas se complementan con indicadores audibles y visuales.

5.1.15 Secuencia de eventos

El sistema es capaz de reconstruir eventos tanto por la asignación de estampas temporales (con detalle de milisegundos) a los eventos recibidos como por el reconocimiento de estampas temporales de notificaciones provenientes de RTUs u otros elementos inteligentes.

5.1.16 Interfaz hombre-máquina

La interfaz primaria para el diálogo del personal de operación con el sistema del CDC, se convierte en la parte clave dentro de los servicios que debe brindar el sistema para el aprovechamiento de su potencial.

Se pretende una interfaz tan completa como la tecnología actual lo permita, con alto grado de versatilidad y facilidad de mantenimiento. Es decir que todo el potencial que el hardware permite se refleja en el software implementado.

Para las estaciones de trabajo *ET* se requiere una interfaz desarrollada en técnicas de capacidad gráfica total (full-graphic), con procesamiento en modo local, que no significa carga alguna sobre el resto del sistema más allá de la necesaria para el suministro de los datos de proceso a representar.

Básicamente satisface los requerimientos del operador según los siguientes aspectos:

- a) control del sistema eléctrico
- b) presentación de la información del proceso

- c) presentación de la información producida por las aplicaciones
- d) presentación de la información del sistema
- e) interfaz para la ejecución de proceso
- f) interfaz para mantenimiento, diagnóstico y control del sistema.

5.1.17 Funciones de las estaciones de trabajo *ET*

Las ET cuentan con las siguientes facilidades:

- a) Selección de cualquier monitor de la ET como activo mediante el movimiento del cursor a través de los bordes de las pantallas. Ante el arranque del sistema, deberá quedar seleccionado como activo el primer monitor de cada ET.
- b) Asignación de los monitores de cada ET, en forma individual, a determinado servidor. Ante el arranque del sistema, todos los monitores deberán estar asignados al mismo servidor.
- c) Establecimiento de distintos niveles de acceso a las funciones mediante la identificación por palabra clave, con registro de actividades (ingreso, egreso, etc.).
- d) Uso de la misma ET para diferentes tipos de funciones (operaciones en el sistema de potencia, actividades de mantenimiento, funciones de estudio, etc.).
- e) Establecimiento por consola de la autorización sobre supervisión y control, de manera que coincida con la responsabilidad de sus operadores usuarios.

Las ET tienen una responsabilidad específica definida por áreas (por ejemplo: niveles de voltaje, áreas geográficas, etc.). Ante la falla en una ET, existe uno de respaldo a la que se le transferirá automáticamente el área de autoridad, teniendo en este caso autoridad sobre dos áreas.

Cada consola cuenta con ventanas predefinidas para presentación de avisos primarios ante contingencias que se superpongan a la actividad que esté siendo desarrollada por el operador. Esta ventana se puede minimizar cuando no se use, a fin de no limitar el espacio disponible en pantalla. Todos los textos y mensajes que aparecen en pantallas están en idioma español.

5.2 Arquitectura del sistema

Específicamente el CDC del AMM cuenta con:

- Sistema de Control Supervisor y Adquisición de Datos *SCADA*
- Sistema de Información Histórica *HIS*
- Programas para Control Automático de Generación *AGC*
- Capacidad para vincularse y transferir información con otros centros de control del país o de la región
- Herramientas para mantener, adecuar y diagnosticar el sistema
- Programas para manejo y gestión de red

El Mercado Mayorista de Electricidad consiste de cinco tipos de participantes:

- Generadores
- Distribuidores
- Grandes Usuarios

- Comercializadores
- Transportistas

El AMM coordina el despacho físico de generadores para cumplir con la demanda de energía del sistema. El despacho se realiza bajo criterios de seguridad, continuidad, calidad y economía.

Para coordinar la operación en tiempo real, el CDC del AMM requiere de información que proporcionan, por normativa vigente, todos los participantes del mercado con instalaciones operativas.

La información que el CDC recibe puede tomar la forma de enlaces bajo protocolo DNP 3.0 con RTUs de generadores independientes, de enlaces de alto nivel con otros centros de control que jerárquicamente están debajo del AMM, y enlaces de alto nivel con otros centros de control que están jerárquicamente por encima del AMM.

En particular, existen actualmente cuatro centros de control nacionales de menor jerarquía con los que se prevé se establecerá un vínculo de alto nivel a través de protocolo ICCP (*Inter-Control Center Communications Protocol*, también TASE.2, por *Telecontrol Application Service Element*). Estos son: el Centro Nacional de Despacho y Operación *CENADO*, la empresa Transportista Eléctrica de Centroamérica S. A. *TRELEC*, la Empresa de Generación de Energía Eléctrica *EGEE*, y UNION FENOSA. En cuanto a vínculos de alto nivel hacia centros de mayor jerarquía, sólo se prevé uno: el vínculo vía ICCP al Ente Operador Regional *EOR*.

Por lo tanto, el equipamiento del SCADA tiene la capacidad de aceptar un número predefinido de enlaces transmitiendo en DNP 3.0, comunicarse vía

ICCP con cuatro centros de control nacionales, y comunicarse vía ICCP con un centro de control jerárquicamente superior en la región centroamericana.

Las instrucciones emitidas por el CDC nunca son de telecomando. En otras palabras, desde el SCADA del CDC no se abren, cierran, o de cualquier manera accionan interruptores, disyuntores, transformadores, o cualquier equipamiento (aún cuando tenga a capacidad de ser telecomandado).

Los únicos tipos de telecomandos iniciado por el CDC del AMM son los cambios en consigna de unidades generadoras que participen en el AGC y éstos cambios son ordenados únicamente por el programa de AGC cuando esté activo.

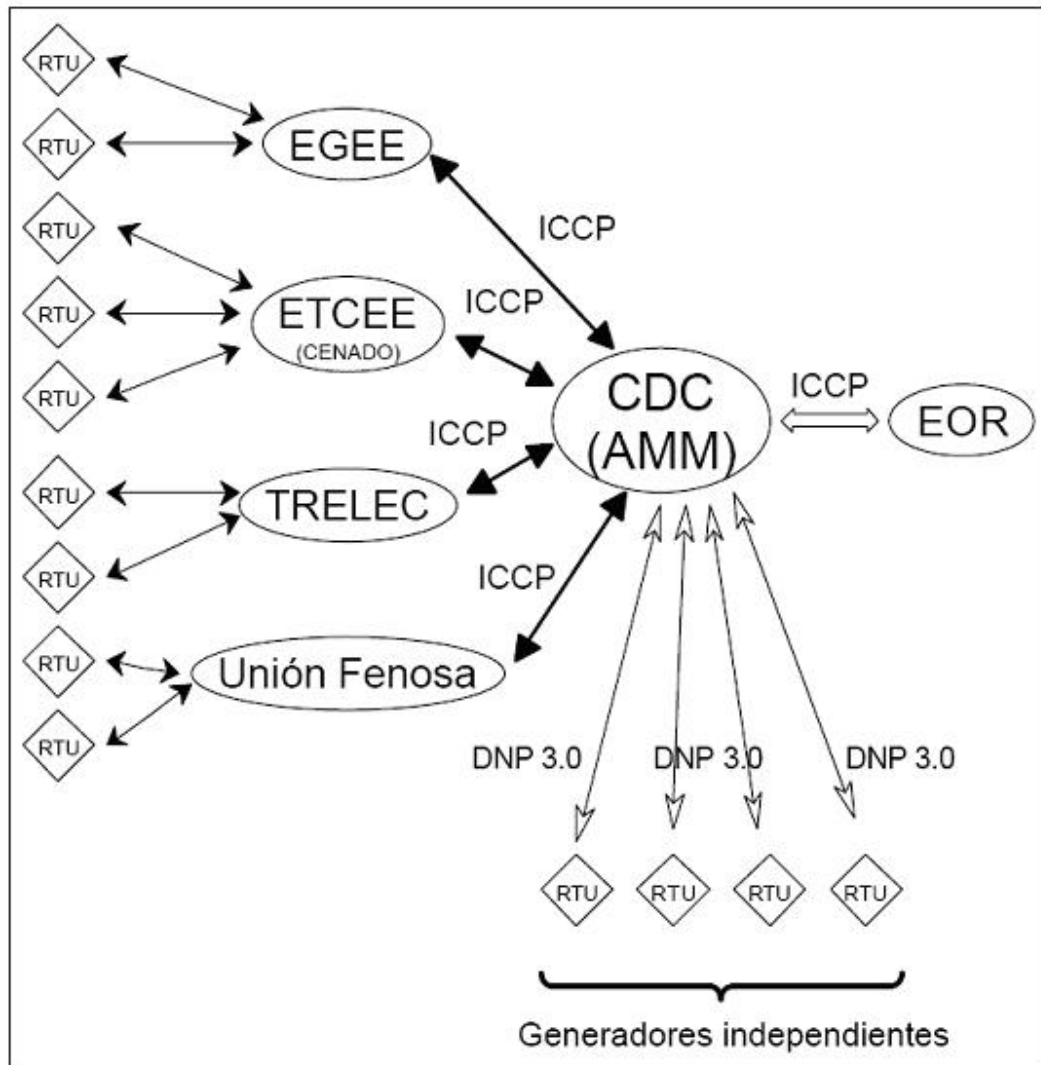
El sistema es capaz de transferir información de alto y bajo nivel. “Alto nivel” se refiere al flujo de información entre centros de control, misma que se realizará a través de protocolo ICCP. Se prevé el intercambio de información en alto nivel con cinco distintos puntos:

Cuatro centros de control nacional y un centro de control regional en el EOR.

Por otra parte, los intercambios de “bajo nivel”, se refieren a enlaces en protocolo DNP 3.0 con las cuales el sistema del CDC se comunicará con RTUs de unidades generadoras independientes.

El sistema proporcionará los puertos de protocolo RS-232 necesarios para acomodar 100 RTUs.

Figura 33. Flujo de información entre el CDC y elementos externos

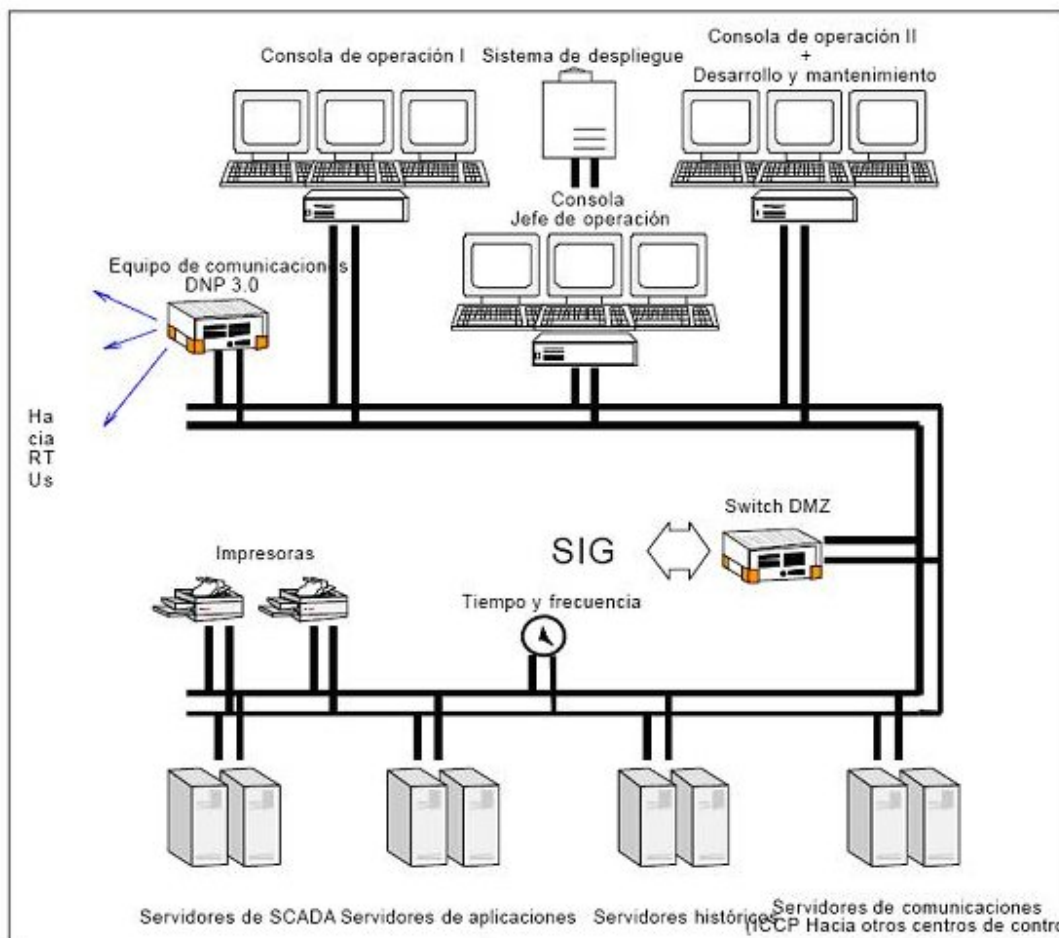


El sistema tiene una configuración que asegure una disponibilidad muy alta, sin elementos críticos cuya falla signifique la pérdida del sistema y tratando de lograr la máxima redundancia con la duplicación de los servidores, consolas, periféricos, dispositivos de red, alimentaciones, etc.

Las máquinas del CDC están conectadas por una red de área local LAN redundante del tipo Fast Ethernet (100 Mbps nominal). En el montaje de la LAN se utiliza técnicas de cableado estructurado de acuerdo con la norma EIA/TIA 568.

El software procesa la función de conmutación ante falla de uno de los elementos redundantes de manera automática, transparente, y con señalización para indicar la falla.

Figura 34. Configuración de red de área local



El sistema del CDC cuenta con la siguiente configuración:

- a) Servidores especializados para las funciones de:
 - adquisición de datos (redundante)
 - comunicaciones con otros centros (redundante)
 - programas del sistema (aplicaciones, redundante)
 - registro histórico (redundante)

- b) Tres (3) consolas de operación, con tres (3) monitores cada una, distribuidas de la siguiente forma:
 - consola 1 y 2: para operadores
 - consola 3: para desarrollo y mantenimiento

- c) Un (1) sistema de pantallas para presentaciones multipropósito o de proyección

- d) Equipo de comunicaciones para RTUs en DNP 3.0

- e) Reloj de tiempo real y frecuencia del sistema

- f) Impresoras

- g) Switch DMZ para interconexión con el SIG

Los equipos cumplen, en lo aplicable, con la última versión de las normas o recomendaciones emitidas por los siguientes institutos:

- IEC
- IEEE
- UIT-T (ex CCITT)
- ISO
- CIGRÉ

5.2.1 Servidores de SCADA

La adquisición de datos se realizan mediante equipos periféricos dedicados, conectados sobre las computadoras frontales, que efectúan el preprocesamiento de la información.

Tales equipos mantienen el diálogo con las unidades terminales remotas (RTUs) por distintos puertos, bajo protocolo DNP 3.0 a distintas velocidades.

5.2.2 Servidores de comunicaciones

Para la vinculación entre centros de control se dispone de servidores de comunicaciones con múltiples puertos de salida, con una interfaz normalizada para enlaces digitales. El protocolo a implementado es ICCP.

5.2.3 Consolas de operación y adicionales

Las consolas de operación y las consolas adicionales conforman estaciones de trabajo *ET* con controlador de pantalla basado en X-Windows y un sistema administrador de ventanas OSF/Motif (preferido) u Open Look (alternativo).

Los datos correspondientes a los distintos esquemas residen en la computadora correspondiente a la consola. El procesamiento relacionado con las pantallas se realiza localmente en la computadora de la consola.

Las consolas están diseñadas respetando aspectos ergonómicos, con teclado alfanumérico para ingreso de datos y con apuntador de pantalla tipo ratón como herramienta principal para el movimiento del cursor a fin de tener acceso a los puntos sensibles en las pantallas.

El hecho de que una consola esté configurada con más de un monitor es transparente para el operador, es decir que se tiene acceso a los distintos monitores simplemente dirigiendo el cursor hacia ellos.

Cada consola esta equipada con varios niveles de señales acústicas seleccionables, las que son usadas según la clase de evento a informar al operador (alarmas, señalizaciones, etc.).

Los monitores son del tipo ecológico, con bajas radiaciones y dispositivos para que eliminan los reflejos.

5.3 Mejora en el mercado energético nacional gracias a la implementación de SCADA

Entre las ventajas obtenidas gracias a la implementación del sistema SCADA están:

- Mayor eficiencia en la utilización de los recursos existentes permitiendo un aplazamiento de mayor inversión.
- Supervisión y grabación proveyendo mejores bases para decisiones en expansiones futuras.
- Más rápida localización de fallas reduciendo los gastos de interrupción
- La supervisión reduce las interrupciones así como previene el desgaste del equipo.
- Reducción del mantenimiento y de personal disponible para el mantenimiento de los sistemas de poder.

La implementación del *Sistema Informático en Tiempo Real* del AMM ha permitido la integración de distintas unidades generadoras capaces de prestar

el servicio de *Reserva Rodante Operativa*, teniendo como consecuencia la apertura a la competencia por este servicio.

“La implementación del Sistema Informático en Tiempo Real –STIR- del AMM ha permitido la integración de distintas unidades generadoras capaces de prestar el servicio de Reserva Rodante Operativa -RRO-, teniendo como consecuencia el que pueda darse la competencia por este servicio tal y como lo establece la NCC-8.

Como resultado, entre los meses de octubre y diciembre del año 2005 el costo total de RRO se ha reducido, aunque el margen de Potencia asignada como RRO no ha cambiado apreciablemente. De esta manera para diciembre de 2005, el precio promedio del MW asignado como RRO se redujo de \$105.00 a \$65.00.

La diferencias entre el costo de RRO para el sistema en los meses de octubre a diciembre del 2005 y la tendencia observada para el costo total de RRO entre noviembre del 2004 y septiembre del 2005 es notorio. El cambio de comportamiento se debió a la posibilidad de competencia abierta, como consecuencia de la implementación del SITR. Los valores acumulados de estas diferencias totalizan más de \$1,800,000.00 que supera el costo de \$1,660,661.00 del SITR, lo cual significa que la reducción en el costo total de RRO ha compensado en tres meses la inversión realizada por el AMM en el equipamiento del SITR (SCADA/AGC/HIS) y que los participantes consumidores pagan ahora menos por RRO de lo que solían pagar antes de que esta competencia fuera posible. Este es un beneficio más del SITR para los participantes consumidores y el Sistema Nacional Interconectado.”

Tabla VII. Variación de valor total de RRO (Ahorro)

2005	Valor real de RRO	Valor proyectado según tendencia Nov 04 a Sep 05	Ahorro
Octubre	\$1,997,890.75	\$2,179,184.94	\$181,294.19
Noviembre	\$1,640,886.12	\$2,226,955.26	\$586,069.14
Diciembre	\$1,188,401.02	\$2,274,725.58	\$1,086,324.56
		TOTAL	\$1,853,687.89

Fuente: Dr. Juan Carlos Córdoba. <http://www.amm.org.gt/>.

Gracias al STIR las unidades integradas a la red se han ido agregando, permitiendo el crecimiento del cluster de generadores al sistema, aumentando la oferta de energía (Energía GWh).

Los precios de la energía han tenido un crecimiento, el cual por las características de la generación eléctrica en Guatemala, es directamente proporcional al precio del bunker.

Tabla VIII. Precios de la energía

Variable	2004	2005	2006	2007	2008
US \$	\$31,430,183.98	\$22,145,766.31	\$21,695,350.16	\$25,807,915.15	\$33,673,218.83
GW		219.183	224.389	242.28	222.894
US\$/GW	#DIV/0!	101.0377918	96.6863356	106.52103	151.0727917
% de variación RRO		0.00%	-4.31%	10.17%	41.82%
Unidades	11	17	17	19	23

Integradas					
Precio SPOT promedio US\$/MWh	\$48.81	\$62.19	\$76.93	\$89.80	\$120.52
% de variación SPOT		27.41%	23.70%	16.73%	34.21%
Energía GWh	7,050.15	7,242.98	7,445.02	7,936.73	7,917.35
% de variación		2.74%	2.79%	6.60%	-0.24%
Precio Promedio BUNKER US\$/bbl	26	38.35	45.64	53.79	79.16
% de variación Bunker		47.52%	19.00%	17.85%	47.17%

Fuente: <http://www.platts.com/>

El SCADA/AGC era un requerimiento para que el AMM cumpliera con lo estipulado en la reglamentación que lo rige, al implementar el propio se dejó de pagar alquiler del uso del SCADA/AGC de ETCEE/INDE para la prestación de este servicio, estando en ese entonces únicamente disponibles para prestar este servicio a unidades de EGEE/INDE. Al tener su propio SCADA/AGC AMM, fomento la competencia en este mercado, de 10 unidades de la EGEE a 17 con las 7 unidades de La Esperanza, y llegando a 23 actualmente, en el futuro ya hay intenciones de agregar otras 8 unidades, de 2 diferentes plantas.

CONCLUSIONES

1. Se desarrollo un informe explicativo sobre la arquitectura y componentes del sistema SCADA.
2. Se ejemplifico el uso del sistema SCADA con el utilizado actualmente para el control, supervisión y adquisición de datos en el centro de despacho de carga del Administrador del Mercado Mayorista (AMM).
3. Debido a que los recursos energéticos son limitados, se nos es obligatorio administrarlos de un modo optimizado, por lo que es necesario la actualización de las tecnologías utilizadas por los sistemas para tal propósito.
4. Las tecnologías de comunicaciones dictan los alcances que los sistemas SCADA pueden abarcar.
5. La utilización del sistema SCADA, ayudan a minimizar perdida de recursos debido a alguna falla en el sistema nacional eléctrico, del mismo modo, priorizar los recursos.
6. La cantidad de unidades dispuestas a participar en la red de generadores a crecido de 17 a 23 (35%), en los últimos tres años, lo que hace más competitivo este mercado.

RECOMENDACIONES

1. Debido que SCADA es un sistema en que cada uno de sus componentes es prioritario, ocasionando perdida de recursos por la falla en algún componente, se recomienda una estructura de alta disponibilidad, en el cual existan redundancia en sus componentes, permitiendo así, en caso de alguna eventualidad, el sistema no se vea interrumpido.
2. Las tecnologías utilizadas en el sistema SCADA se deben de ir actualizando, los avances en las comunicaciones, en los sistemas de almacenamiento de información, nuevas interfaces de comunicación hombre-máquina, aumento en el ancho de banda para una mejor administración en tiempo real de la información, son primordiales para la mejora continua en todos los componentes del sistema.
3. La implementación de estándares a todo nivel en el sistema, aseguran la búsqueda de mejora continua, permitiendo posibles futuros acoplamientos de sistemas, a niveles regionales.

BIBLIOGRAFÍA

Boyer, Estuart A. **SCADA: supervisory control and data acquisition.** 2ª ed. United States of America: ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 1999. 215pp..

Cegrell, Tosten. **Power System control technology.** Great Britain: Prentice-Hall Internacional, 1986. 342pp.

Department of Industrial Control Systems, **Basic SCADA Functionality,** KTH – Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 27pp.

Boletín AMM, **Beneficios del SITR y la competencia en el mercado de RRO para los agentes,** Año 4, Numero 18, Enero – Febrero 2006

Fabiana Ferreira, **Software de supervisión industrial o software SCADA,** Facultad de Ingeniera, Universidad de Buenos Aires

ANEXOS

Telemetría	La telemetría es un conjunto de procedimientos para medir magnitudes físicas y químicas desde una posición distante al lugar donde se producen los fenómenos cuando existen limitaciones de acceso.
OFFSHORE	Se conoce como <i>offshore</i> la práctica de subcontratar servicios a empresas localizadas en países cuya mano de obra es más barata que el país en el que se sitúa la compañía que externaliza dichos servicios.
Kernel	<p>El kernel (también conocido como núcleo del sistema) es aquella parte de un sistema operativo que interactúa de forma directa con el hardware de una máquina. Entre las funciones principales del kernel se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none">• La gestión de memoria.• La administración del sistema de archivos.• La administración de servicios de entrada/salida.• La asignación de recursos entre los usuarios. <p>La manipulación del hardware se realiza por medio de controladores de dispositivo, que conocen la forma de <i>comunicarse</i> directamente con el hardware de la máquina.</p> <p>El software por su parte puede comunicarse con el kernel por medio de llamadas al sistema, las cuales</p>

le indican al kernel que realice tareas como abrir y escribir un archivo, ejecutar un programa, finalizar un proceso u obtener la fecha y hora del sistema