

Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil Electrónica

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED MODBUS PARA EL MONITOREO DE VARIABLES ELÉCTRICAS DESDE UN RECONECTADOR DE CIRCUITOS NOJA PROPIEDAD DE LEVADURAS COLLICO S.A.

Tesis para optar al título de: Ingeniero Electrónico

Profesor Patrocinante: Sr. Pedro Rey Clericus. Ingeniero Electrónico, Licenciado en Ciencias de la Ingeniería, Diplomado en Ciencias de la Ingeniería.

CRISTIAN OMAR OYARZO LÓPEZ VALDIVIA – CHILE 2008

Comisión de Titulación

Profesor Patrocinante:

Pedro Rey Clericus

Profesores Informantes:

Ricardo Gutiérrez Z.

Franklin Castro R.

Dedicatoria:

"A Dios, a los santos y a toda la orden celestial por ayudarme a terminar este proyecto, por darme la fortaleza y el coraje para salir siempre adelante y poder cumplir mis locos sueños."

A mis padres, Omar y Juanita.

Los que me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: amor. Los que sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme.

Los que la ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho. A los que nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo.

Agradecimientos:

A mi papá Omar, gracias por todo el apoyo que me has dado desde la infancia hasta ahora y porque siempre has trabajado para darnos lo mejor a mis hermanos y a mi. A través des estas líneas quiero darte las gracias por ser el mejor padre y por quitarte el pan de la boca con tal de que no nos faltara nada.

A mi mamá juanita, gracias por todo tu apoyo incondicional, por el desvelo que has tenido por nosotros, por estar conmigo en cada etapa de mi vida, por ser mi amiga y comprenderme en los momentos mas difíciles. Como toda madre das todo por tus hijos.

A mis hermanos Ariel y Luís gracias por aguantarme y preocuparse por mi cuando las cosas me salían mal

A mis hermanas Ximena y Claudia por a esas pequeñas criaturitas que Dios les mando del cielo y que tanta alegría le entregan a mi vida.

A don Marcos Sagredo por la oportunidad que me brindó de realizar el proyectote Titulación en Levaduras Collico; así como a todo su personal que durante estos 3 meses me consideró como un compañero más.

A Don Héctor Carrillo que más que un jefe lo considero un amigo. Gracias por ser mi consejero y compañero en todos los proyectos que desarrollamos juntos. Por siempre creer en mí y apoyarme cuando las cosas se me ponían difíciles.

A todos mis profesores de carrera por compartir sus conocimientos, sus valores y sus ideales. Se con seguridad que todas sus enseñanzas marcaran mi camino de hoy en adelante.

Índice de Contenidos

Portada.		Ι
Comisión	de Titulación	II
Dedicato	ria	III
Agradeci	mientos	IV
Índice de	Contenidos	V
Índice de	Figuras	IX
Índice de	Tablas	XII
Resumen		XIII
Summary	y	XIV
Introduce	ción	1
CAPITU	LO I: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	4
1.0	DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE	5
1.0.1	Reconectador Automático NOJA	5
1.0.1.1	Descripción y Funcionamiento	6
1.0.1.2	Panel de Control de Operador	8
1.0.1.3	Interfaz de Telemetría	9
1.0.1.4	Protocolos de Comunicación	10
1.0.1.5	Interfaz de Computadora	12
1.0.1.6	Características de Protección	13
1.0.1.7	Características Técnicas	14
1.0.2	Sistema de Control Distribuido (DCS) – CENTUM CS3000	15
1.0.2.1	Arquitectura	15
1.0.2.2	Estación de Operador	16
1.0.2.3	Estación de Ingeniería (ENG)	17
1.0.2.4	Estación de Control	17
1.0.2.4.1	Unidad de Control de Campo (FCU-Field Control Unit)	18
1.0.2.4.2	Nodos Locales y Remotos	19

1.0.2.4.3	Módulos I/O	20
1.0.2.4.4	Tarjeta ALR121	21
1.0.2.4.5	Bus ESB	22
1.0.2.4.6	Bus ER	22
1.0.2.5	Red V Net	23
1.0.2.6	Red Ethernet	24
1.0.2.7	Programación del Sistema CENTUM	25
1.0.2.7.1	Tablas Secuenciales	25
1.0.2.7.2	Control Drawing	26
1.0.2.7.3	Constructor de Gráficos	27
1.0.3	Modulo LM96	28
1.0.3.1	Características Técnicas	29
1.0.3.2	Aplicaciones	29
1.0.3.3	Terminal de Conexión	30
1.0.3.4	Terminal de Configuración	31
1.0.3.5	Canal de Comunicación	31
1.0.3.6	Puertos de Comunicación	32
1.0.3.7	Tipos de Paridad	32
1.0.3.8	Antena	33
1.0.3.9	Cable de Extensión de Antena	33
1.0.4	Fuente Switching AC/DC 5Vcc/15W	34
1.0.4.1	Características	34
1.0.4.2	Instalación	. 35
1.0.4.3	Funcionamiento	35
1.0.4.4	Precauciones de Uso	35
1.1	PROTOCOLO MODBUS	36
1.1.1	Características Físicas	36
1.1.2	Características Lógicas	37
1.1.2.1	Un Protocolo Maestro-Esclavo	37
1.1.2.2	Orientado a la Conexión	38
1.1.2.3	Direccionamiento Modbus	.39

1.1.2.4	La Trama Modbus	39
1.1.2.5	Funciones y Códigos de Operación	41
1.1.2.6	Transmisión de Datos en Serie	42
1.1.2.6.1	Modo de Transmisión ASCII	42
1.1.2.6.2	Modo de Transmisión RTU (Remote Terminal Unit)	43
1.1.2.6.3	Entramado de un Mensaje Modbus RTU	. 44
1.2	BUS RS485	46
1.2.1	Bus RS485 de 2 Hilos	46
1.2.2	Bus RS485 de 4 Hilos	47
1.2.3	Método Físico de Transmisión	48
1.2.4	Longitud de la Línea	48
CAPITU	LO II: CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA	49
2.0	CONFIGURACIÓN DEL MAESTRO MODBUS	50
2.0.1	Indicadores del Sistema	50
2.0.2	Señales de Entrada	52
2.0.3	Control Drawings	53
2.0.4	Configuración del Protocolo Modbus Master	55
2.0.5	Interfaz Gráfica	58
2.1	CONFIGURACIÓN DEL ESCLAVO MODBUS	59
2.2	CONFIGURACIÓN DE LOS MODULOS LM96	62
CAPITU	LO III: CONEXIONES FÍSICAS	64
3.0	CONEXIÓN RECONECTADOR-MODULO LM96	65
3.1	CONEXIÓN TARJETA ALR121-MODULO LM96	66
3.2	CONEXIÓN MODULO LM96-FUENTE SWITCHING	67
CAPITU	LO IV: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	68
4.1	UBICACIÓN DE LA DCS Y EL RECONECTADOR	69
4.2	MONTAJE DE LOS MODULOS LM96 Y FUENTES SWITCHING	70
4.2.1	Cajas de Protección	71

4.2.2	Mástil de Soporte	72
4.2.3	Instalación de los Soportes	73
4.3	CABLEADO DE LOS EQUIPOS	75
4.3.1	Cableado DCS-Modulo LM96	76
4.3.2	Cableado Reconectador-Modulo LM96	76
4.3.3	Cable de Extensión de Antena	77
4.4	CANALIZACIÓN	78
4.4.1	Canalización con Conduit Flexible	78
4.4.2	Canalización con Tubería Galvanizada	79
4.4.3	Canalización con Tubería de PVC	79
CAPITU	LO V: APLICACIÓN DE "SUMINISTRO ELECTRICO"	81
5.0	DESCRIPCIÓN	82
5.1	INICIALIZACIÓN DE LA APLICACIÓN	82
5.1.1	Ventana de Mensajes del Sistema	82
5.1.2	Menú Principal	83
5.2	VISUALIZACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO	84
5.3	GRAFICAS DE TENDENCIAS	85
5.3.1	Índice de Marca	85
5.3.2	Ventana de Instrumentos	86
5.3.3	Filtrar Gráficas de Tendencias	87
5.3.4	Comprimir y Expandir Gráficas	88
5.3.5	Exportar Datos	89
5.4	VISUALIZACIÓN DE ALARMAS	91
CAPITU	LO VI: CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO	93
6.0	CONCLUSIONES	94
6.1	MEJORAS	95
6.2	LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO	96
Referenci	as Bibliográficas	97

Índice de Figuras

Figura 1: Red Modbus implementada
Figura 2: Reconectador NOJA de montaje en poste
Figura 3: a) Tanque de acero b) Gabinete de control7
Figura 4: Diagrama en bloque del reconectador NOJA8
Figura 5: Panel de Control de Operador
Figura 6: Interior del Gabinete de Control 10
Figura 7: Terminal RS232 del Reconectador 10
Figura 8: Terminal RS485 del Reconectador11
Figura 9: Conexión Half Duplex del Reconectador
Figura 10: Conexión Full Duplex del Reconectador 12
Figura 11: Pantalla software TELUS 13
Figura 12: Arquitectura básica Sistema CENTUM CS3000 16
Figura 13: HIS estilo de visualización a) Cerrada, b) Abierta
Figura 14: Unidad de control de campo 19
Figura 15: Detalle de la arquitectura de un nodo 19
Figura 16: Nodos locales y remotos 20
Figura 17: Modulo I/O con diferentes tipos de conectores
Figura 18: Modulo I/O ALR121 para CENTUM CS300021
Figura 19: Conexión de nodos locales y remotos a través de bus ESB/ER 23
Figura 20: Cable coaxial para V Net 24
Figura 21: Tarjeta para V Net, vista frontal
Figura 22: Pantalla de programación secuencial Yokogawa26
Figura 23: Control Drawing 27
Figura 24: Constructor de gráficos en ambiente Yokogawa27
Figura 25: Modulo LM 96
Figura 26: Esquema conexión Modulo LM96/Equipo remoto
Figura 27: Antena 433MHz modulo LM9633

Figura 28: Cable de extensión antena modulo LM96	33
Figura 29: Fuente Switching 5Vdc	34
Figura 30: Diagrama de componentes Fuente Switching	35
Figura 31: Modelos de redes Modbus	36
Figura 32: Transmisión en modo unicast	37
Figura 33: Transmisión en modo broadcast	38
Figura 34: PDU de Modbus	. 39
Figura 35: Aspecto de una trama Modbus	.40
Figura 36: Distribución de bits en mensaje modo RTU	. 43
Figura 37: de bits en modo RTU con bit de paridad	. 44
Figura 38: Secuencia de bits en modo RTU sin bit de paridad	. 44
Figura 39: Espacio temporal de bits en modo RTU	45
Figura 40: Entramado en modo RTU con puntos de inicio y final	.45
Figura 41: Descarte de una trama Modbus RTU	45
Figura 42: Bus RS485 de 2 hilos	. 47
Figura 43: Bus RS485 de 4 hilos	47
Figura 44: Creación de Indicador de Potencia activa total	52
Figura 45: Control Drawing de corriente de fase A	. 54
Figura 46: Control drawing del sistema	54
Figura 47: Pantalla de creación de control drawing	.55
Figura 48: Ventana de configuración del protocolo Modbus Master	56
Figura 49: Ventana de visualización del consumo eléctrico	. 58
Figura 50: Menú de selección del protocolo Modbus para reconectador	60
Figura 51: Menú de selección de la Interfaz RS485 del reconectador	60
Figura 52: Menú para la asignación de dirección de esclavo al reconectador	61
Figura 53: Menú de selección del modo de transmisión Half en el Reconectador	. 61
Figura 54: Menú de selección del baud rate para comunicación del reconectador	. 62
Figura 55: Menú de selección tipo de paridad para comunicación del reconectador	62
Figura 56: Configuración jumper JP2 de los módulos LM96	63
Figura 57: Pines puerto RS485 Reconectador	. 65
Figura 58: Conexión reconectador-LM96	. 66

Figura 59: Conexión ALR121-LM96	67
Figura 60: Conexión LM96-Fuente Switching	67
Figura 61: Ubicación Reconectador y DCS	69
Figura 62: Vista espacial ubicación DCS y Reconectador	. 69
Figura 63: Vista espacial de ubicación de las tarjetas integradas	70
Figura 64: Vista lateral de ubicación de las tarjetas integradas	.70
Figura 65: Caja aluminio para montaje modulo LM96 y fuente Switching	71
Figura 66: Caja estanca para montaje de la caja de aluminio	. 72
Figura 67: Soporte para cajas estaca	.73
Figura 68: Anclaje de las soportes a las terrazas	74
Figura 69: Vientos para mástil de soporte	. 74
Figura 70: Soporte superior para ráfagas de viento	75
Figura 71: Cable datos y alimentación	75
Figura 72: Cableado DCS-Modulo LM96	76
Figura 73: Cableado Reconectador-Modulo LM96	77
Figura 74: Instalación cable de extensión de antena	77
Figura 75: Canalización cajas de distribución-mástil de soporte	78
Figura 76: Canalización DCS-caja de distribución	. 79
Figura 77: Canalización Reconectador-caja de distribución	. 80
Figura 78: Ventana de mensajes del sistema	. 83
Figura 79: Menú Principal	. 83
Figura 80: Pantalla de Suministro Eléctrico	84
Figura 81: Ventana de tendencias del sistema	. 85
Figura 82: Variables instantáneas desde pantalla tendencias	. 86
Figura 83: Selección de variables a mostrar en pantalla tendencias	87
Figura 84: Tendencia de Potencia Activa Total	88
Figura 85: Compresión grafica de tendencias	89
Figura 86: Pantalla de selección de variables a exportar	90
Figura 87: Pantalla para guardar archivo con datos exportados	91
Figura 88: Notificación de alarmas	. 92
Figura 89: Ventana de alarmas de sistema	. 92

Índice de tablas

Tabla 1: Descripción pines conector JP1 modulo LM96	30
Tabla 2: Canales de comunicación modulo LM96	32
Tabla 3: Asignación de direcciones en Modbus	39
Tabla 4: Funciones Modbus y sus códigos de operación	41
Tabla 5: Indicadores del sistema	51
Tabla 6: Definición de las señales de entrada para la DCS	53
Tabla 7: Direcciones de registros de entrada a leer del reconectador	57
Tabla 8: Parámetros de configuración del puerto 1 de la tarjeta ALR121	58
Tabla 9: Parámetros de configuración del reconectador como esclavo	59
Tabla 10: Parámetros de configuración de los módulos LM96	63
Tabla 11: Canal de comunicación para los modulo LM96	63

Resumen

En este proyecto se desarrolla e implementa un sistema capaz de monitorear en línea el consumo eléctrico total de media tensión de la empresa Levaduras Collico S.A. Mediante una interfaz grafica de usuario el personal de planta podrá visualizar los parámetros eléctricos desde cualquiera de las estaciones de operador presentes en la sala de control. De esta forma se esta eliminando la necesidad de que personal ingrese a zonas de alto voltaje para observar estos parámetro directamente en los dispositivos medidores de consumo disponibles en planta.

Summary

In this project it develops and implements a system capable to monitor online the electrical consumption total of average tension for the company Levaduras Collico S.A. By means of a graphic interface the plant personnel will be capable to visualize the electrical parameters from anyone of the operator stations present in the control room. Of this form this eliminating the necessity of which personal it enters to zones of high voltage in order to observe these parameter directly in the measuring devices of consumption available in plant.

Introducción

En época de restricción eléctrica es muy importante conocer de manera precisa la demanda eléctrica instantánea, ya que al sobrepasar la potencia máxima contratada con la compañía Eléctrica, en horario normal o punta, los cargos facturados a fin de mes experimentan un considerable aumento. Si a esto sumamos el problema puntual de que el distribuidor eléctrico factura los cargos sin que muchas empresas tengan la posibilidad de contrastar dicha información, nos damos cuenta lo necesario que puede llegar a ser un sistema de medición que permita conocer con certeza los niveles de potencia eléctrica que se están consumiendo instantáneamente.

Si bien existen en el mercado gran variedad de dispositivos medidores de consumo eléctrico que se pueden adquirir a un precio razonable, se opta por tomar ventaja de las características de comunicación y medición que posee el Reconectador Automático NOJA, instalado en plana como dispositivo de protección. Es así como en este proyecto utilizara el estándar de comunicaciones Modbus/RTU, para monitorear remotamente este dispositivo desde el Sistema de Control Distribuido (DCS) CENTUM CS3000, que es el sistema utilizado por la empresa para proveer control y monitoreo en tiempo real de su proceso productivo.

Objetivo General

 Diseñar e implementar un enlace que permita monitorear el consumo instantáneo de potencia eléctrica desde la sala de control, aprovechando las capacidades de medición y comunicación del Reconectador NOJA.

Objetivos Específicos

- Identificar y describir los medios físicos, y protocolos de comunicación soportados por el Reconectador Automático NOJA.
- Formular las especificaciones del diseño de la aplicación que permitan integrar eficientemente software/hardware.
- Diseñar el enlace de forma tal que los datos se extraigan desde Reconectador a través de una interfaz RS232/RS485 y se transmitan inalámbricamente hacia la sala de control ahorrando la mayor cantidad de cableado posible.
- Seleccionar o diseñar un software para la administración del enlace y monitoreo de las variables eléctricas.

Arquitectura de la solución

En el siguiente diagrama se ilustra la red Modbus implementada, al igual que los enlaces y la interacción que existe entre los diversos elementos que componen el sistema:



Figura 1: Red Modbus Implementada

El sistema planteado se centra en torno dos dispositivos, por un lado el Reconectador NOJA que mide los parámetros eléctricos de la línea trifásica de media tensión y las almacena en su memoria interna, y por el otro la DCS que accede de forma remota a estos parámetros para mostrarlos en las estaciones de operador de la sala de control.

Si bien los parámetros eléctricos son extraídos desde el Reconectador por medio de un bus serial RS485, estos son transmitidos inalámbricamente hasta la DCS a través de los módulos LM96. Ofreciendo una alternativa bastante más económica de lo que seria cablear directamente los dispositivos remotos.

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

1.0 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

La red Modbus implementada en este proyecto, ver figura 1, se encuentra conformada por diversos elementos hardware, incluyendo los elementos finales de medición. A continuación se enumeran cada uno de ellos:

- 1. Reconectador Automático NOJA
- 2. Sistema de Control Distribuido (DCS) CENTUM CS3000
- 3. Modulo LM96
- 4. Fuente Switching AC/DC 5V/15W

1.0.1 Reconectador Automático NOJA

Un Reconectador es un interruptor con reconexión automática, instalado en líneas trifásicas de distribución eléctrica. Es un dispositivo de protección capaz de detectar una sobrecorriente, interrumpirla y reconectar automáticamente para reenergizar la línea. Está dotado de un control que le permite realizar varias reconexiones sucesivas, pudiendo además, variar el intervalo y la secuencia de estas reconexiones. De esta manera, si la falla es de carácter permanente el reconectador abre en forma definitiva después de cierto número programado de operaciones, de modo que aísla la sección fallada de la parte principal del sistema.



Figura 2: Reconectador NOJA de montado en poste

1.0.1.1 Descripción y Funcionamiento

El Reconectador incorpora tres interruptores en vacío operados por tres actuadores magnéticos separados, contenidos en un tanque de acero inoxidable, totalmente soldado y sellado, especialmente diseñado para el montaje sobre poste. Dicho tanque está lleno de gas de hexafluoruro de azufre (SF6), el cual tiene excelentes propiedades de aislación eléctrica. El gabinete de control, instalado a poca altura para facilitar el acceso, es el que aloja al Panel de Control del operador y la unidad de microelectrónica. Dicho gabinete cumple con las funciones de protección, control y monitoreo del reconectador.



Figura 3: a) Tanque de acero b) Gabinete de control

Los interruptores de vacío son operados por tres actuadores magnetitos que producen una firma acción de apertura y de cierre. La conmutación ocurre cuando se envía, desde un capacitor de almacenamiento ubicado en el gabinete de control, un pulso controlado ya sea a través de una bobina de apertura o de cierre. Cuando esta cerrado, el mecanismo es trabado magnéticamente.

El reconectador mide el voltaje mediante pantallas de goma conductivas acopladas de manera capacitiva y la corriente mediante sensores Rogowski. Tres conectores proporcionan medidas de voltajes/corrientes de fase y los otros tres conectores proporcionan medidas de voltaje/corriente residual.

El gabinete de control y el tanque están conectados mediante un cable umbilical de control, formando en conjunto lo que se conoce como un reconectador de acción automática.



Figura 4: Diagrama en bloque del reconectador NOJA

1.0.1.2 Panel de Control de Operador

El panel de control es la interfaz de usuario desde donde es posible programar las funciones protección y supervisión del reconectador.



Figura 5: Panel de Control de Operador

En cada reconectador NOJA se proporcionan tres niveles de interfaz de usuario:

- El nivel de operador que permite solo las operaciones básicas del reconectador, como:
 - Ajustes de protección e historial de fallas.
 - Mediciones de línea y datos históricos.
 - Funciones del reconectador, como control Remoto/Local, modo auto recierre, Cerrar/Abrir, Falla a Tierra, Falla a Tierra de Alta Sensibilidad.
 - Alarmas/ Estados.
- El nivel Técnico, protegido por una contraseña a criterio del usuario en el "nivel de ingeniero", que permite la configuración de todos los parámetros relacionados con la protección.
- El nivel Ingeniero, accesible mediante una computadora portátil o un PC, que permite una personalización avanzada del panel de operador, configuración de contraseñas, y todas las funciones de los niveles de Operador y Técnico.

1.0.1.3 Interfaces de Telemetría

El Reconectador puede ser controlado remotamente a través de sus interfaces RS232 o RS485 presentes en el interior del gabinete de control.



Figura 6: Interior del Gabinete de Control

La interfaz RS232 esta compuesta por un conector tipo DB-9 de 9 pines, en donde las señales TX, DTR y RTS son de salida, mientras que RX, DSR, CTS y DCD son de entrada. La masa de referencia para todas las señales es GND (Tierra de Señal) y la señal RI es un indicador de Llamada.



	DCD	1
X9	RX	2
	ТХ	3
	DTR	4
	GND	5
	DSR	6
	RTS	7
	CTS	8
	RI	9

Figura 7: Terminal RS232 del Reconectador

La interfaz RS485 (XS1) esta presente como un Terminal de grapas de jaula WAGO, en donde las señales RX+ y RX- representan el canal diferencial de recepción, las señales TX+ y TX- representan el canal diferencial de transmisión, y la señal SGND la referencia a tierra. Además, entre los pines 1 y 2 es posible obtener +12Vcc para alimentar a algún dispositivo externo.



Figura 8: Terminal RS485 del Reconectador

El Terminal XS1 soporta los modos de transmisión Half o Full Duplex con velocidades de transmisión que van desde los 300 a los 38400 bps. En modo Half Duplex el dispositivo de comunicación combina transmisión y recepción en un mismo conector.



Figura 9: Conexión Half Duplex del Reconectador

Mientras que en modo Full Duplex el dispositivo de comunicación separa los conectores de transmisión y recepción.



Figura 10: Conexión Full Duplex del Reconectador

1.0.1.4 Protocolos de Comunicación.

Los protocolos de comunicación DNP3 y Modbus/RTU se incluyen como estándar en el gabinete de control y comunicaciones. Ambos están diseñados para controlar remotamente al reconectador por medio de un sistema SCADA o cualquier dispositivo remoto que soporte estos protocolos.

1.0.1.5 Interfaz de Computadora

El panel de control de operador incorpora una interfaz RS232 para conectar directamente una computadora personal que, a través del software propietario TELUS, puede realizar operaciones de control y monitoreo remoto bajo ambiente Windows.



Figura 11: Pantalla software TELUS

1.0.1.6 Características de protección

Los reconectadores NOJA incluyen de fábrica una amplia gama de características de protección, tales como:

- Falla de tierra direccional completa/falla de tierra sensible.
- Sobrecarga de fase direccional completa.
- Cierre en frío.
- Sobrecorrientes de entrada.
- Coordinación del dispositivo aguas abajo.
- Sobrecarga/falla de tierra de la línea en vivo.
- Tensión reducida.
- Frecuencia reducida.
- Detección de pérdidas de suministro.
- Control de reconexión del voltaje.
- Protección automática retroalimentada.

- Preconfigurado para trabajar con SCADA y con los protocolos DNP3 y Modbus.
- Puertos RS232 y RS485 para control remoto.

1.0.1.7 Características Técnicas

Los reconectadores de media tensión poseen las siguientes características técnicas.

Sensores de corriente:	6 sensores de corriente Rogowsky	
Sensores de voltaje:	6 pantallas de voltaje	
Voltaje máximo calificador:	15.5kV	
Corriente continua calificada:	630A	
RMS con capacidad de producir fallas:	16kA	
Pico con capacidad de producir fallas:	40kA	
Capacidad de interrumpir fallas:	16kA	
Operaciones mecánicas:	30,000	
Operaciones de carga máxima:	30,000	
Operaciones de capacidad de interrumpir fallas:	200	
Espera de corriente de corto plazo:	16kA/4 secs	
Capacidad de interrupción principalmente activa:	630A	
Corriente de magnetización del transformador:	22A	
Corriente de carga del cable:	25A	
Corriente de carga de la línea:	10A	
Espera de impulso fase a tierra y fase a fase:	110kV	
Impulso a través del interruptor:	110kV	
Espera de frecuencia de energía de fase a tierra	50kV	
A través del interruptor:	60kV	
Temperatura ambiente:	-40° to 55°	
Humedad:	0-100%	
Altitud:	3000M	
Peso en el tanque:	85kg	

1.0.2 Sistema de Control Distribuido (DCS) - CENTUM CS3000

Un sistema de control distribuido (DCS) se refiere a un sistema de control típicamente utilizado en un sistema de producción o proceso o en cualquier sistema dinámico, donde los elementos de control no están localizados en una ubicación central, sino que están distribuidos con cada componente y subsistema bajo el control de uno o más controladores. El sistema entero debe estar conectado en red para su comunicación y supervisión.

El CENTUM CS3000 es un Sistema de Control Distribuido de producción, integrado y escalable, diseñado tanto para pequeñas como para grandes aplicaciones de control de proceso. Desarrollado con la experiencia y el conocimiento en la industria por Yokogawa Electric Corporation, fabricante japonés líder en automatización industrial y control de procesos, instrumentos de test y medición, programas informáticos de optimización de procesos y servicios de soporte industrial.

1.0.2.1 Arquitectura

La arquitectura de un CENTUM CS3000 esta compuesta por la estación de control (FCS) que conecta a todos los dispositivos para el control de la planta, las estaciones de operador (HIS) para la supervisión y visualización del proceso, la estación ENG para funciones de ingeniería y mantenimiento, y las redes de comunicación internas V Net.



Figura 12: Arquitectura básica Sistema CENTUM CS3000

1.0.2.2 Estación de Operador

La estación de operador más conocida como HIS (Human Interface Station) es una interfaz hombre-máquina con herramientas para control, supervisión, monitorización, análisis y optimización del proceso. Incorpora interfaces abiertas para que las computadoras de supervisión puedan tener acceso a las tendencias, mensajes, alarmas y datos necesarios para captar en tiempo real el estado de funcionamiento de la planta.

Básicamente existen dos tipos de estaciones de operador, la HIS tipo Desktop que utiliza computadoras personales de propósito general o compatible, y las HIS tipo consola que pueden ser de estilo de visualización abierta o cerrada (figura 2).



Figura 13: HIS estilo de visualización a) Cerrada, b) Abierta

1.0.2.3 Estación de Ingeniería (ENG).

Es una computadora personal con un software para funciones de ingeniería y mantenimiento. Permite ejecutar un sinnúmero de operaciones, que van desde la modificación y creación de lógica de control, diseño de interfaces gráficas para las estaciones de operador y tendencias, hasta la configuración de todo el sistema. Puede configurar y corregir todas las modificaciones y cambios que se le hagan al sistema en tiempo real, sin necedad de parar el proceso.

La estación de ingeniería puede ser la misma estación de operador, ampliando así el campo de aplicación de la ENG a funciones de operación y monitoreo del proceso.

1.0.2.4 Estación de Control

La estación de control, más conocida como FCS (Field Control Station), es el alma principal del proceso. Integra el Hardware necesario para controlar la planta, compuesto básicamente por

procesadores, fuentes de alimentación internas, buses e interfaces de comunicación y módulos de I/O todos con la posibilidad de redundancia.

La redundancia hace del sistema un entorno fiable y seguro a todos los niveles ya que en caso de fallo de un procesador, fuente de alimentación o red de control, entra en funcionamiento la redundante, sin alteración del proceso.

Una estación de control realiza principalmente las siguientes funciones:

- Funciones Regulación y Control: Que están organizadas de forma jerárquica, esta estructura facilita los trabajos de ingeniería y configuración.
- Funciones de Control Secuencial: Las estaciones de control tienen la posibilidad de regular y configurar el sistema mediante tablas secuenciales, diagramas lógicos, lenguaje SFC (Operación y control mediante definición de procedimientos) o SEBOL (programación de unidades secuenciales).
- Integración a los Subsistemas: Puede comunicarse con subsistemas basados en PLC's. Siendo necesario incorporar tarjetas adicionales que se comuniquen por RS232, RS422 o RS485. Además, el software de comunicación de YOKOGAWA puede trabajar con MODBUS, SIEMENS (R3694), A-B, MITSUBISHI, etc.

1.0.2.4.1 Unidad de Control de Campo (FCU – Field Control Unit)

Es el nodo principal que contiene a la CPU y el encargado de ejecutar todas las funciones de control para la FCS. Esta compuesto principalmente por un modulo procesador, modulo de energía, interfase para bus ESB, módulos de I/O y una interfaz V net para comunicarse con las estaciones de operador.



Figura 14: Unidad de control de campo.

1.0.2.4.2 Nodos Locales y Remotos

Se define como nodo, el elemento que agrupa todas las tarjetas de entrada/salida con los bloques terminales y a su vez con la estación de control.



Figura 15: Detalle de la arquitectura de un nodo.

Los nodos locales están conectados directamente al procesador por un bus interno capaz de comunicar y actualizar gran cantidad de información a alta velocidad. Por su parte los nodos remotos no tienen comunicación directa con el procesador, usan a un nodo local como intermediario.

Por lo general los nodos locales están instalados en el mismo cubículo del procesador o muy cerca de el, mientras que los nodos remotos están ubicados en terreno lo mas cerca posible de los dispositivos de campo.



Figura 16: Nodos locales y remotos

1.0.2.4.3 Módulos I/O

Los módulos de entrada y salida son componentes de los nodos locales y remotos. Los módulos de entrada reciben información desde los dispositivos de campo mientras que los módulos de salida envían datos a los dispositivos de campo. Es posible encontrarlos en gran variedad, tanto para señales analógicas como digitales, con diferentes tipos de conectores, aislamientos y números de I/O.



Figura 17: Modulo I/O con diferentes tipos de conectores

1.0.2.4.4 Tarjeta ALR121

Es un Modulo I/O de Yokogawa diseñado para comunicar la estación de control (FCS) con un subsistema usando el protocolo Modbus RTU. Posee dos canales de comunicación RS485 para transmisión Full y Half Duplex con velocidades de comunicación entre los 1200 y los 19600bps. Puede ser instado directamente en un nodo local o remoto de la DCS.



Figura 18: Modulo I/O ALR121 para CENTUM CS3000
El controlador de la tarjeta incorpora el paquete del protocolo Modbus Master en su variante RTU. Con lo cual libera de carga a la CPU al ser la tarjeta quien se encarga de realizar todo el proceso de comunicación con los subsistemas de la red.

1.0.2.4.5 Bus ESB

El bus ESB (bus serial extendido) es un bus de comunicación usado para comunicar los nodos locales con la estación de control, con las siguientes características:

- Velocidad de comunicación de 2 Mbps
- Transporta la información de 10 nodos como máximo.
- Transmisión a través de cable ESB
- Distancia máxima 10 metros con la estación de control.

1.0.2.4.6 Bus ER

El bus ER (bus remoto extendido) es un bus de comunicaciones utilizado para comunicar los nodos remotos con la estación de control. Usando este bus, los nodos pueden instalarse en el mismo gabinete de la estación de control o en lugares fuera del gabinete. Su máxima distancia de transmisión es de 185 metros usando cable coaxial 10BASE-2, 500 metros usando cable coaxial 10BASE-5 y sobre los 2 kilómetros usando un bus repetidor de fibra óptica



Figura19: Conexión de nodos locales y remotos a través de bus ESB/ER

1.0.2.5 V Net

La red V-NET es la encargada de comunicar la estación de control (FCS) con las estaciones de operador (HIS) y la estación de ingeniería (ENG).

Es una red basada en el Standard IEEE 802.4 con las siguientes características:

- Protocolo Token-Passing de 10 Mbps
- Transmisión vía cable coaxial o fibra óptica
- Distancia máximo con cable coaxial: 700m., con fibra óptica: 20 Km.



Figura 20: Cable coaxial para V Net

Para la comunicación sobre un bus V Net las estaciones de operador e ingeniería necesitan una tarjeta de red VF-701 totalmente independiente de la red para transmisión de datos entre estaciones.



Figura 21: Tarjeta para V Net, vista frontal

Con ello se consigue:

- Máxima velocidad de transmisión de datos referentes con la planta.
- Independencia con red LAN propia de planta
- Transmisión de datos a través de red segura redundante.

1.0.2.6 Ethernet

Es una red de área local (LAN) que interconecta a través de un hub-switch las diferentes estaciones de operador HIS, estaciones de ingeniería e impresoras. Con esta red se puede:

- Visualizar tendencias residentes en otras estaciones de operador.
- Uso de impresoras conectadas a otras estaciones.
- Transferir los parámetros creados o modificados en la estación de ingeniería
- Ecualización de las bases de datos entre estaciones de operación.

1.0.2.7 Programación del Sistema CENTUM

La programación de un sistema CENTUM se realiza a través del propio lenguaje Yokogawa. Este lenguaje se caracteriza por ser bastante visual e intuitivo en el momento de la programación, dejando de lado los procesos de programación basados en líneas de comando.

1.0.2.7.1 Tablas Secuenciales

A nivel secuencial la forma de programación de una DCS Yokogawa es en base a tablas secuenciales, este formato de programación se ejecuta de forma secuencial. Puede definir el modo y la forma en que se ejecuta un bloque de control, si quiere que se ejecute cada scan o bien se ejecute al cambio de alguno de los parámetros definidos en la tabla.

Un ejemplo de tabla secuencial es la siguiente:

1.8	ST100 Wash Line Acopt Processing					ßB	92	3 6	7 0	14	58	92	Į
No	AUT NR A1 TG 1-sec period AAAA AAAA												
C01	SW0012.PV	ON	Line stop		Y			100-00	10.00			1000	Ī
C02	SW0010.PV TM0003 BSTS	ON	Washing st Process tin	art ner 1	.N.Y Y	N						-	
Q04	TM0004.BSTS	CTUP	Process tin	ner2	. Y.	Y							Į.
	RL0001 X01	GE	1		NY	.N			1411				1
096		1			5								L
007					2								
CUB.		-	-		2								÷
C10	1.		1		1000					1111			I.
C11			1										L
C12	1				1000								F
A01	%OG0001.PV	NON	Washing p	rocess start	Y	· Y						0.000	Ŀ
A02	SW0011,PV	H	Washing o	omplete	Y	N							H
A03	TM0003.OP	START	Process in	ner 1	·Y			- 2.2.2			2422	11.11	F
AD4	CLOUZU ACT	ON	FIOW Calcu	a son 1	Y.	- 1112	- 2222		2222	22.6.4	-1221	-1111-	1
406	FICODS MODE	MAN			1 ×								L
A07	FIC007 MODE	MAN	Infet flow		1.1.1	Y							Т
ADS	CL0021 ACT	ON	Flow calcul	ation 2	N. Y.								I.
60A	CL0022 ACT	ON	Flow calcul	ation 3	Y								1
A10	CL0023 ACT	ON	Flow calcul	lation 4		.Y							F
		•						2		·			
	YN			THEN	AAAA 2345	AAAA 6789	1				-	- 2	
	ELSE FLSE		+	.A		1111					1		
	YN				Sec. 4	.1							

Figura 22: Pantalla de programación secuencial Yokogawa.

La forma de ejecución de esta tabla esta configurada al cambio, es decir, que se ejecuta cada vez que cambia alguna de las condiciones establecidas. Su ejecución es de izquierda a derecha y de arriba abajo.

1.0.2.7.2 Control Drawing

Un control drawing consta de dos o más bloques de control que representan una función de control. Hacen que sea fácil controlar las etapas de un proceso y monitorear el estado de grupos de dispositivos, en lugar de dispositivos individuales.

Los dibujos de control permiten:

- Programar la ingeniería de una forma grafica
- Amplia librería de bloques de función (PID, PVI, ST16,...)
- Posibilidad "Drag & Drop"

CONTROL DEL SUI	MINISTRO ELE	CTRICO	
CORRIENTES	× × × × ×		11-02
* **II01 *	PVI A	K KNIIOZ }	PAT NO
VOLTAJES	x → → × x 1 − 01 }		B1-02
A SETUI		E SABITUZ	PVT.
VOLTAJES	***** *****		* * * * {21-02A
E SEETOIA -		₹ <u>***</u> ±±±±±	
POTENCIAS	ar-01		M1-02
\$\$#101 * }	PVI	* 85WI02 * }	TVG

Figura 23: Control Drawing

1.0.2.7.3 Constructor de Gráficos

El constructor de gráficos permite dibujar el proceso que se visualizara en las estaciones de operación, en base a las siguientes características:

- Configuración de gráficos de forma fácil con amplia librería de partes graficas.
- Posibilidad de ActiveX y colores graduales.
- Activación de programas software ajenos al sistema de control.
- Librería con gráficos 3D
- Patrones predefinidos de válvulas, tanques, etc.



Figura 24: Constructor de gráficos en ambiente Yokogawa.

1.0.3 Modulo LM96

El LM96 es un radio módems que trabaja en la banda ICM (Industrial Científica y Médica) de los 433Mhz. Dispone de un módulo de radiofrecuencia (RF) con transmisor-receptor (transceptor) GFSK para datos digitales de 10mW de potencia máxima, y 112dBm de sensibilidad, con el que se pueden conseguir buenos y seguros enlaces bi-direccionales de hasta los 2 kilómetros.



Figura 25: Modulo LM 96

Puede emplearse para conectar vía ondas de radio dos PC, autómatas industriales entre si ó con PCs, terminales móviles, sistemas SCADA, telemandos de riego, telemandos de aguas, localizadores y microcontroladores, de forma sencilla y sin problemas.

Requiere una fuente de alimentación externa que puede variar entre los +3,3Vcc y +5.5Vcc, por lo que están orientados a sistemas de muy bajo consumo con posibilidad de ser alimentado por baterías de NiMh de 3V6/2000mAh.

1.0.3.1 Características Técnicas

Las principales características técnicas del radiomodem LM96 se listan a continuación:

- Potencia de transmisión 10mW
- Transmisión confiable a distancias de 2000m con rango visual
- Interfaz transparente
- Temperatura de trabajo de -10° C ~ 60° C.
- Auto filtración de datos erróneos producidos en el aire
- Frecuencia portadora 430~434 Mhz
- Velocidad efectiva 9600bps
- Modulación GFSK
- Modo sleep
- Bajo consumo: recepción <25mA, transmisión <40mA, modo sleep <20uA
- Tamaño reducido: 47mmx26mmx10mm

1.0.3.2 Aplicaciones

Este radiomodem de baja potencia es ideal para las siguientes aplicaciones:

- Medición de señales como gas, agua, electricidad en zonas residenciales
- Telemetría
- POS inalámbrico
- Control remoto de sistemas de aire acondicionado
- Sistemas de alarmas
- Sistemas de sensores inalámbricos
- Demótica

1.0.3.3 Terminal de conexión.

La conexión a un equipo remoto se hace a través del conector de 9-pines JP1 (ver figura 25), cuyas definiciones y métodos de conexión se describen en la tabla 1.

Pin Nº	Nombre	Descripción	Nivel	Conectado al Terminal	Notas
1	GND	Tierra de la fuente		Tierra de la fuente	
2	Vcc	Voltaje de alimentación	+3.3~5.5V	Fase de la señal	
3	RxD/TTL	Recepción serial de datos	TTL	TxD	COM1
4	TxD/TTL	Transmisión serial de datos	TTL	RxD	COMI
5	SGND	Tierra de la señal			
6	RX+(TxD)	RX+ del RS485 o TxD del RS232		TX+(RxD)	COM2
7	RX-(RxD)	RX- del RS485 o RxD del RS232		TX-(TxD)	000012
8	SLEEP	Control sleep	TTL	Señal ahorro energía	
9	RESET	Señal de reset	TTL	Señal de reinicio del sistema	

Tabla 1: Descripción pines conector JP1 modulo LM96

Como se observa en la tabla anterior, se proporcionan 3 interfaces de comunicación incluyendo el estándar RS232, RS485 y niveles UART/TTL. Lo que le permite conectarse de forma directa con computadores, equipos industriales, microcontroladores y en general cualquier dispositivo que soporte estos estándares de comunicación.

El diagrama de conexión entre el LM96 y un equipo remoto puede hacerse basándose en el siguiente esquema:



Figura 26: Esquema conexión Modulo LM96/Equipo remoto.

1.0.3.4 Terminal de Configuración.

El modulo LM96 posee un grupo de 5 jumper (llamado JP2), definidos como ABCDE respectivamente, que permiten configurar el canal y el modo de transmisión de los datos. Para esto se asume que un jumper en cortocircuito es el modo 0 y sin cortocircuito es el modo 1.

1.0.3.5 Canal de comunicación

Entre cortocicurtiando (0) o no cortocircuitando (1) los jumpers ABC es posible generar 8 combinaciones distintas, en donde cada una de estas combinación representa un canal de comunicación diferente (tabla 2).

Canal N ^o	Frecuencia	Canal N ^o	Frecuencia
CBA= 000 (0)	430.2000MHz	CBA= 100 (4)	434.6940MHz
CBA= 001 (1)	431.4288MHz	CBA= 101 (5)	434.2332MHz
CBA= 010 (2)	431.7360MHz	CBA= 110 (6)	433.1580MHz
CBA=011 (3)	430.5072MHz	CBA= 111 (7)	433.9260MHz

Tabla 2: Canales de comunicación modulo LM96

1.0.3.6 Puertos de Comunicación.

El LM96 posee 2 interfaces seriales, el COM1 (pin3 y pin4 del JP1) que es un puerto serial UART con niveles TTL y el COM2 (pin6 y pin7 del JP1) que es un puerto serial configurable como una interfaz RS232 o RS485.

Para poder elegir entre una interfaz RS232 o RS485 se utiliza el jumper D del conector JP2. Si "D" esta cortocircuitado configura a COM2 como RS232 y si "D" no esta cortocircuitado configura a COM2 como RS485.

1.0.3.7 Tipo de Paridad

El LM96 soporta transmisión con paridad Even (8E1) y sin paridad None (8N1) configurables a través del jumper E del conector JP2.

- E = 1 (sin cortocircuito) configura al modulo como 8E1, es decir, (8) bits de datos, (1) bit de parada y paridad par.
- E = 0 (en cortocircuito) configura al modulo como 8N1, es decir, (8) bits de datos, (1) bit de parada y sin paridad.

1.0.3.8 Antena

El modulo se suministra con una Antena semirígida de 433 Mhz y 50 ohm de impedancia. Esta antena es de tipo omni direccional con polarización vertical y una longitud total de 143 mm.



Figura 27: Antena 433MHz modulo LM96

1.0.3.9 Cable de Extensión de Antena

Este cable se utiliza para ampliar en un (1) metro la distancia de separación entre la antena y el modulo LM96.



Figura 28: Cable de extensión antena modulo LM96

1.0.4 Fuente Switching AC/DC 5Vcc/15W

Es una fuente de alta tecnología y eficiencia, diseñada por la empresa Dreamline para entregar en su Terminal de salida un voltaje continuo de 5Vcc con una potencia máxima de 15W. Incorpora un LED para indicar el estado de operación y un fusible interno de protección.



Figura 29: Fuente Switching 5Vdc

1.0.4.1 Características

- Eficiencia: <80%
- Regulación: 1%
- Voltage Ripple (mVp-p): 100 max.
- Rango de voltaje de entrada: 85 a 265 Vac.
- Aislamiento Entrada-Salida: 1.500 Vcc.
- Protecciones: Sobrecarga/ Sobrevoltaje/ Sobre temperatura/ Cortocircuito.
- Dimensiones compactas: 63mmx46mmx26 mm.
- Peso: 50grs.

1.0.4.2 Instalación

El Terminal INPUT se conecta directamente a la línea eléctrica de los 220Vac y el equipo que se desea alimentar al terminar DC, respetando siempre la polaridad de la fuente.



Figura 30: Diagrama de componentes Fuente Switching

1.0.4.3 Funcionamiento

Durante una operación normal, alimentada la fuente desde la red eléctrica, el LED VERDE debe encender. En caso de falla, el LED de indicación de operación comenzará a parpadear. En tal caso se debe desconectar la fuente para revisar si existe algún cortocircuito en la carga.

1.0.4.4 Precauciones de Uso

- Al operar a potencias cercanas al máximo algunos componentes podrían llegar a 80° de temperatura.
- Nunca utilizar un voltaje de entrada AC mayor a 300Vac RMS.
- Evitar cortocircuitar las salidas DC.
- Si el voltaje de entrada está bajo el rango aceptado la fuente se mantendrá apagada.

1.1 PROTOCOLO MODBUS

Para monitorear remotamente al reconectador se utiliza Modbus, un protocolo de comunicación de capas 1 y 2 de la pila OSI, desarrollado por la Gould Modicom (ahora AEG Schneider Automation) para su gama de controladores lógicos programables (PLCs).

Este protocolo puede implementarse con diversos tipos de conexión física y cada fabricante suele suministrar un software de aplicación propio, que permite parametrizar sus productos.

1.1.1 Características físicas

Las comunicaciones Modbus pueden realizarse sobre enlaces punto a punto o multipunto, dependiendo de si los mensajes se envía en modo unicast o broadcast. Como puede verse en la figura 31, el enlace físico puede ser cableado mediante RS-232, RS-422 o RS-485 o puede ser a través de enlaces de radio, típicamente del tipo spread spectrum, que tiene la ventaja de no requerir licencia para su instalación. Los enlaces pueden ser indistintamente del tipo Half Duplex o Full Duplex con baud rates que van desde 1200 a 38400 bps.





1.1.2 Características lógicas

1.1.2.1 Un Protocolo Maestro-Esclavo

Desde el punto de vista de la capa 2 de la pila OSI (capa de enlace) un sistema Maestro-Esclavo se compone, principalmente, por un único nodo (maestro) que envía comandos e instrucciones a uno o varios de los nodos esclavos y procesa las respuestas de éstos, es decir, el maestro puede realizar operaciones de lectura y escritura sobre los esclavos. Normalmente, los esclavos no suelen transmitir información al maestro a no ser que este envíe una petición expresa y tampoco se comunican entre sí. En una red Modbus el dispositivo maestro puede transmitir datos en dos modos diferentes:

Unicast:

En modo unicast el maestro se comunica con un dispositivo esclavo en concreto y éste siempre devuelve un mensaje de respuesta al maestro. En la figura 32 puede verse que en una transmisión unicast, el intercambio de información Modbus siempre se compone de 2 mensajes: una petición del maestro y una respuesta del esclavo.



Figura 32: Transmisión en modo unicast

Broadcast:

En este modo el maestro es capaz de mandar un mismo mensaje a múltiples dispositivos esclavos. Los esclavos no envían mensajes de respuesta al maestro al recibir una transmisión en modo broadcast. Un mensaje broadcast se reconoce por transportar un 0 en el campo dirección del destinatario. En la figura 33 se puede observar cómo se realiza una comunicación en modo broadcast.



Figura 33: Transmisión en modo broadcast

1.1.2.2 Orientado a la conexión.

Modbus es un protocolo de comunicación sin estado, es decir, cada solicitud del maestro es tratada independientemente por el esclavo y es considerada una nueva solicitud no relacionada a las anteriores, de esta forma se hace a las transacciones de datos altamente resistentes a rupturas debido a ruido.

1.1.2.3 Direccionamiento Modbus

Modbus es un protocolo con un direccionamiento muy sencillo que abarca 256 direcciones diferentes, con la particularidad de que el dispositivo maestro no posee una dirección específica y las direcciones de los esclavos deben ser únicas dentro de un mismo bus serie de comunicaciones. En la tabla 3 podemos ver cómo están repartidas las 256 direcciones:

Dirección	0	1 a 247	248 a 256
Asignada a	Broadcast	Esclavos	Reservadas

Tabla 3: Asignación de direcciones en Modbus.

1.1.2.4 La trama Modbus

En la figura 34 se puede observar cual es la PDU (Protocol Data Unit) con la que trabaja Modbus y que es totalmente independiente de las capas inferiores.



Figura 34: PDU de Modbus.

Al usar Modbus sobre una red específica se añaden campos adicionales a la PDU para lograr una correcta comunicación entre los dispositivos, de manera que cuando el maestro inicia la comunicación, construye la PDU y añade los campos que son necesarios. La trama final tiene el aspecto siguiente:



Figura 35: Aspecto de una trama Modbus.

- Address field (campo dirección, 1 byte): En este campo se especifica la dirección a la que se transmite la información. Si la trama la manda un dispositivo maestro, esta dirección puede tomar el valor 0 (broadcast) y valores entre 1 y 247 (esclavo). Cuando el esclavo devuelve su respuesta, pone su propia dirección en el campo de dirección para hacer saber al maestro quien envía la trama.
- Function code (campo función, 1 byte): En este campo se incluye un código correspondiente a las acciones que debe llevar a cabo el esclavo. Estas funciones se muestran en la tabla 4.
- Data (campo de datos, 0-252 bytes): Los datos son información adicional que el maestro envía al esclavo, o viceversa, para realizar la función especificada en el campo anterior. Puede darse el caso que no haya datos, en el cual este campo ocuparía 0 bytes, o que haya datos estructurados en N palabras de 8 bits (1 byte) hasta alcanzar un máximo de 252 bytes.
- CRC (campo de checksum, 2 bytes): Campo que incluye un detector de errores de 16 bits. Mediante este CRC pueden detectarse errores, pero no corregirse. Para poder corregirlos el número de bits dedicados al CRC debería ser mayor pero, para las funciones que debe llevar a cabo Modbus, no resulta necesaria la corrección de errores. Como puede verse, el campo CRC se compone de 2 bytes; uno de ellos corresponde al valor de CRC_{LOW} y el otro a CRC_{HIGH}.

De los tamaños que puede soportar cada campo se puede deducir que el tamaño máximo de una trama o mensaje Modbus no puede ser mayor a 256 bytes. Así, se puede afirmar que se trata de un protocolo que apenas introduce carga en la red.

1.1.2.5 Funciones y códigos de operación

La tabla 4 muestra la lista de funciones disponibles en el protocolo Modbus con sus correspondientes códigos de operación.

Función	Cod.	Dirección	Dirección	Dispositivo / Datos
		Absoluta	Relativa	
Leer estado de una bobina	01H	00001 a 09999	0 a 9998	Bobinas o relés
Posicionar una bobina	05H	00001 a 09999	0 a 9998	Bobinas o relés
Posicionar múltiples bobinas	15H	00001 a 09999	0 a 9998	Bobinas o relés
Leer estado de entradas	02H	10001 a 19999	0 a 9998	Entradas discretas
Leer registros de entrada	04H	30001 a 39999	0 a 9998	Registros de entrada
Leer registros de salida	03H	40001 a 49999	0 a 9998	Registros de memoria
Reponer un registro	06H	40001 a 49999	0 a 9998	Registros de memoria
Reponer múltiples registros	16H	40001 a 49999	0 a 9998	Registros de memoria
Leer estados de excepción	07H			
Prueba y diagnostico	08H			

Tabla 4: Funciones Modbus y sus códigos de operación

Por lo general, un dispositivo esclavo implementa sólo una parte de estas funciones, dependiendo de cual sea la información con la que debe trabajar.

1.1.2.6 Transmisión de datos en serie

El protocolo Modbus es capaz de utilizar dos modos de transmisión de datos a través de una red Modbus: el modo RTU y el modo ASCII. La misión de estos modos es definir de qué manera va a realizarse la transmisión de datos en serie, el contenido en bits de los diferentes campos del mensaje, cómo la información va a empaquetarse dentro del campo de mensaje y cómo va a decodificarse.

El modo ASCII, pese a ser requerido específicamente por algunas aplicaciones y dispositivos, es solo un método opcional a la hora de implementarlo, el modo RTU es obligatorio y debe ser implementado en todos los dispositivos Modbus, por lo que el modo RTU siempre es el método seleccionado por defecto.

1.1.2.6.1 Modo de transmisión ASCII

En modo ASCII todas las tramas comienzan con un carácter ":" y terminan con CRLF (retorno de carro y alimentación de línea, códigos ASCII 13 y 10 respectivamente). Todos los bytes transmitidos entre ambos delimitadores son caracteres ASCII entre '0'-'9' y 'A'-'F' representando, en hexadecimal, los valores binarios a transmitir. A modo de ejemplo, el valor 00111111 (BIN) = 3F (HEX), se transmite como '3' seguido de 'F'. En este modo las tramas son del doble de la longitud que en el modo RTU para cumplir la misma función. Las ventajas de este modo de transmisión son que es más fácil de implementar, dado que no requiere temporizaciones precisas. Es por ello que muchos equipos sólo soportan este modo de comunicación. Desde el punto de vista del diagnóstico, es también más simple, ya que las tramas se pueden ver directamente. Por el contrario, las desventajas son que las tramas tienen una longitud de aproximadamente el doble que las tramas RTU, lo cual tiene el efecto neto de reducir la velocidad de comunicación a la mitad. El modo ASCII se presta mejor para el desarrollo de drivers de comunicación mediante lenguajes de alto nivel.

1.1.2.6.2 Modo de transmisión RTU (Remote Terminal Unit)

En los mensajes enviados en modo RTU, cada byte contiene un carácter compuesto por dos palabras de 4 bits en hexadecimal. La gran ventaja de este modo es que con la misma tasa de transferencia se obtiene un rendimiento mayor que usando el modo ASCII, ya que se usan más bits para cada palabra. Por otro lado, cabe destacar que cada mensaje debe ser transmitido en un flujo continuo de palabras o caracteres. Así, es más eficiente ya que las tramas son más cortas, lo cual aprovecha mejor los enlaces lentos como los de radio o en un menor tiempo de actualización cuando la red posee gran número de esclavos. Por el contrario, su principal desventaja es que es más difícil de implementar, pues requiere temporizaciones precisas para marcar el fin del mensaje. En un mensaje transmitido usando el modo RTU se utilizan 11 bits para cada byte (palabra o carácter) enviado y su distribución es la siguiente:



Figura 36: Distribución de bits en mensaje modo RTU

El modo de paridad even parity es obligatorio que esté disponible, en cambio, otros modos como odd parity o no parity pueden ser usados, aunque, para asegurar la compatibilidad con diferentes productos es recomendable incluir el modo no parity también. En caso de no utilizar paridad en el mensaje se usan 2 bits de stop. Cada byte o palabra se transmite siguiendo el orden LSB (Least Significant Bit) – MSB (Most Significant Bit) de izquierda a derecha, lo que significa que primero de todo se transmiten los bits de menor peso y que la transmisión va de izquierda a

derecha, por lo tanto, observando la figura 37, el LSB se colocaría en la casilla adyacente al bit de start, en la número 1. Por su parte, en la figura 38 se muestra el caso en que no se use bit de paridad.

with Parity Checking										
Start 1	2	3	4	5	6	7	8	Par	Stop	

Figura 37: Secuencia de bits en modo RTU con bit de paridad.

Without Parity Checking									
Start 1	2	3	4	5	6	7	8	Štop	Stop

Figura 38: Secuencia de bits en modo RTU sin bit de paridad.

Como se puede observar en las figuras anteriores, dependiendo de si se usa paridad o no a la hora de transmitir la palabra, el penúltimo bit (el décimo) tomará el valor correspondiente a la paridad usada o, en su defecto, actuará como un bit de stop más.

1.1.2.6.3Entramado de un mensaje Modbus RTU

Los dispositivos que transmiten un mensaje Modbus lo introducen en una trama compuesta por un punto de inicio y otro de final de trama. Esta técnica se utiliza, sobretodo, para que los dispositivos receptores de un mensaje Modbus sean capaces de identificar cuando se inicia o finaliza una trama ya que, como se ha indicado anteriormente, su longitud es variable dependiendo del tamaño del campo de datos que transporta. De la misma manera que se puede diferenciar una trama de otra, este método también permite identificar tramas incompletas o erróneas, ya que si no se recibe cualquiera de los dos puntos los datos serán descartados a partir del último punto que el sistema haya reconocido. En el modo RTU los puntos de inicio y final de trama están representados por dos silencios que duran, al menos, 3.5 tiempos de carácter, lo que también se conoce como 3.5τ . En las figuras 39 y 40 se puede observar cómo se aplica este tiempo de espaciado entre tramas.



Figura 39: Espacio temporal de bits en modo RTU



Figura 40: Entramado en modo RTU con puntos de inicio y final.

Cabe destacar que la trama debe enviarse como un flujo continúo de caracteres y en caso que un intervalo de silencio entre dos de estos caracteres dure más de $1,5\tau$, la trama se marca como incompleta y el receptor debe descartarla. Este caso puede observarse en la figura 41.



Figura 41: Descarte de una trama Modbus RTU.

1.2 BUS RS485

La interfaz RS485 ha sido desarrollada para la transmisión en serie de datos de alta velocidad a grandes distancias. Está concebida como sistema Bus bidireccional con hasta 32 participantes. La norma RS485 define solamente las especificaciones eléctricas para receptores y transmisores en un sistema de bus digital, pero no define o recomienda ningún protocolo de datos. Físicamente puede instalarse tanto como un sistema de 2 hilos o de 4 hilos.

Dado que varios transmisores trabajan en una línea común, tiene que garantizarse con un protocolo que en todo momento esté activo como máximo un transmisor de datos. Los otros transmisores tienen que encontrarse en ese momento en estado de alta impedancia.

1.2.1 Bus RS485 de 2 hilos

El Bus RS485 de 2 hilos se compone según la figura 42 del cable propio del Bus con una longitud máxima de 500m. Los participantes se conectan a este cable a través de una línea adaptadora de longitud máxima de 5 metros. La ventaja de la técnica de 2 hilos reside esencialmente en la capacidad multimaestro, en donde cualquier participante puede cambiar datos en principio con cualquier otro. El Bus de 2 hilos es básicamente apto sólo para comunicaciones Half Duplex. Puesto que sólo hay a disposición una vía de transmisión, siempre puede enviar datos un solo participante. Después de finalizar el envío, pueden responder otros participantes.



Figura 42: Bus RS485 de 2 hilos

1.2.2 Bus RS485 de 4 hilos

La técnica de 4 hilos sólo puede ser usada por aplicaciones Maestro/Esclavo. Según el dibujo de la figura 43 se cablea aquí la salida de datos del Maestro a las entradas de datos de todos los Esclavos. El Bus de 4 hilos es apto para comunicaciones Full Duplex, ya que cada dirección, recepción y transmisión, tiene su propia ruta.



Figura 43: Bus RS485 de 4 hilos

1.2.3 Método Físico de Transmisión

Los datos en serie se transmiten, sin relación de masa, como la diferencia de tensión entre dos líneas correspondientes. Para cada señal a transmitir existe un par de conductores que se compone de una línea de señales invertida y otra no invertida. La línea invertida se caracteriza por regla general por el índice "A" o "-", mientras que la línea no invertida lleva "B" o "+". El receptor evalúa solamente la diferencia existente entre ambas líneas, de modo que las perturbaciones en la línea de transmisión no afectan la señal útil.

Los transmisores RS485 envían un nivel de ± 1.5 V entre las dos salidas; mientras que los módulos de recepción reconocen un nivel de ± 200 mV como señal válida. Por lo que la diferencia entre los requerimientos del transmisor y el receptor pueden tener un margen de ruido de 1.3V. La señal diferencial puede atenuarse o tener picos de largo como de 1.3V, y aun así el receptor vera el nivel lógico correcto.

Si A es al menos 0.2V más positiva que B, el receptor ve un 1 lógico y si B es al menos 0.2V más positivo que A, el receptor ve un 0 lógico. Si la diferencia entre A y B es menor a 0.2V, el nivel lógico es indefinido. Si esto ocurre habría un error en la transmisión y recepción de la información.

1.2.4 Longitud de Líneas

Usando un método de transmisión simétrico en combinación con cables de pares de baja capacidad y amortiguación (twisted pair) pueden realizarse conexiones muy eficaces a través de una distancia de hasta 500m con velocidades de transmisión al mismo tiempo altas (hasta 10Mbps). El uso de un cable TP de alta calidad evita por un lado la diafonía entre las señales transmitidas y por el otro reduce adicionalmente al efecto del apantallamiento (la sensibilidad de la instalación de transmisión contra señales perturbadoras entremezcladas).

CAPITULO II

CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

La red Modbus implementada la conforman tres dispositivos principales como son los módulos LM96, el reconectador y la DCS. Cada uno de ellos se configura de manera independiente, pero en conjunto proporcionan la funcionalidad al sistema.

2.0 CONFIGURACIÓN DEL MAESTRO MODBUS

Para configurar la DCS (maestro) fue necesario realizar los siguientes procedimientos:

- Crear los indicadores del sistema (variables).
- Definir las señales de entrada.
- Programar los Control Drawings
- Configurar el Protocolo Modbus Master
- Desarrollo de la Interfaz gráfica de visualización

Todos estos procedimientos de configuración se ingresaron al sistema desde la estación de ingeniería (ENG) a través de la suite Yokogawa System View CS3000.

2.0.1 Indicadores del sistema

Los indicadores del sistema son las variables que reflejan constantemente los últimos valores de los parámetros eléctricos leídos desde el reconectador. De la especificación TEA-508, para la implementación del protocolo Modbus en un reconectador NOJA, se seleccionaron aquellos parámetros eléctricos considerados importantes para el desarrollo del proyecto, creándose un indicador por cada uno de ellos.

En la tabla siguiente se listan los indicadores creados, además de sus frecuencias de muestreo, limites máximos/mínimos y factores de conversión.

Nº	Indicador	Comentario	Frec. Muestreo (Sec)	Factor de conversión	Limite Mínimo	Limite Máximo
001	II-01	Corriente fase A	1	1	0.0	100.0
002	II-02	Corriente fase B	1	1	0.0	100.0
003	II-03	Corriente fase C	1		0.0	100.0
004	EI-01	Voltaje fase A-neutro	1	1.000	0.0	8.0
005	EI-02	Voltaje fase B-neutro	1	1.000	0.0	8.0
006	EI-03	Voltaje fase C-neutro	1	1.000	0.0	8.0
007	EI-01A	Voltaje fase A-B	1	1.000	0.0	15.0
008	EI-02A	Voltaje fase B-C	1	1.000	0.0	15.0
009	EI-03A	Voltaje fase C-A	1	1.000	0.0	15.0
010	WI-01	Potencia activa fase A	1	1	0.0	700.0
011	WI-02	Potencia activa fase B	1	1	0.0	700.0
012	WI-03	Potencia activa fase C	1	1	0.0	700.0
013	WI-01A	Potencia Aparente fase A	1	1	0.0	800.0
014	WI-02A	Potencia Aparente fase B	1	1	0.0	800.0
015	WI-03A	Potencia Aparente fase C	1	1	0.0	800.0
016	WI-01B	Potencia Aparente total	1	1	0.0	2000.0
017	WI-03B	Potencia Activa total	1	1	0.0	2000.0

Tabla 5: Indicadores del sistema

Cada uno de estos indicadores se creo a través de la aplicación "Función Block Detail Builder" de la suite System View CS3000. Como ejemplo en la figura 44 se muestra la creación del indicador WI-03B que muestra la Potencia Activa Total.



Figura 44: Creación de Indicador de Potencia activa total

2.0.2 Señales de Entrada

Las señales de entrada permiten identificar a que indicador pertenece cada dato recibido por la tarjeta ALR121. Como se observa en la tabla 6 se definieron 17 señales de entrada, es decir, una por cada indicador.

Señal	Indicador	Tipo
%%II01	II-01	Input
%%II02	II-02	Input
%%II03	II-03	Input

%%EI01	EI-01	Input
%%EI02	EI-02	Input
%%EI03	EI-03	Input
%%EI01A	EI-01A	Input
%%EI02A	EI-02A	Input
%%EI03A	EI-03A	Input
%%WI01	WI-01	Input
%%WI02	WI-02	Input
%%WI03	WI-03	Input
%%WI01A	WI-01A	Input
%%WI02A	WI-02A	Input
%%WI03A	WI-03A	Input
%%WI03B	WI-03B	Input
%%WI01B	WI-01B	Input

Tabla 6: Definición de las señales de entrada para la DCS

2.0.3 Control Drawings

La configuración de todas las señales de entrada anteriormente referenciadas se hizo en forma de control drawings, es decir, en forma de dibujos de control propios del sistema. Cada control drawing conecta una entrada física a un bloque lógico de control que asigna el dato leído al indicador correspondiente.

En la figura 45 se muestra el control drawing que configura la señal de entrada %%II01 de la corriente de fase A, en donde:

- %%II01 representa la señal física de entrada en la tarjeta ALR121.
- PVI es el boque de control, que contiene toda la información y parámetros necesarios para procesar el dato recibido antes de asignarlo al indicador II-01.

• II-01 es el indicador al cual se le asigna el dato de corriente de fase A.



Figura 45: Control Drawing de corriente de fase A

La explicación para los demás control drawing creados para el sistema es completamente análoga a la anterior.



Figura 46: Control drawing del sistema.

Los control drawings se ingresaron al sistema a través de la aplicación Yokogawa "Control Drawing Builder" perteneciente a la suite System View CS3000 (figura 47).

Control Drawing Builder	r - [Pjt:COLLICO St	m:F(30101 Dram:DR0027 Tile:DR0027.ed	- [1008]]					_ 8 X
File Edit View Inse	rt Format Tools	Draw Window Help						-8×
Test Mana		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	8 2 9	Mix E:	500, 1 550, 1 500, 1	650		1000
001 II-01 002 II-02 003 II-03 004 EI-01	0	CONTROL DEL SUN	IINISTRO ELEC	TRICO			- X-X-X-	
005 E1-02 006 E1-03 007 E1-01A 008 E1-02A		CORRIENTES	*II-01 *	~ ~ ~ ~ ~		<u></u>	× II-03 *	
009 EI-D3A 010 WI-D1 011 WI-D2	1111			<u>≰</u>		* \$\$IID3 * * * * * *	**************************************	
012 WI-01A 014 WI-02A 015 WI-03A		VOLTAJES	EI-01		EI-02	¥ ¥ ¥ ¥ ¥	EI-03	
016 WI-01B 017 WI-D3B 018 CON-ELEC 019 RL-CONS	250 1.1.2		PVI }	X X X X X X X X X X X X X X X X X X X	→→→ ×→×→×	X %*EID3 X X X X X X		
020	1 1 1 005	VOLTAJES	EI-01A		EI-02A		EI-D3A	
	350 1	×××××× %%EIOIA ××××××		* * * * * * * * * ***102A * * * * * *		* * * * * * * * * * * * * * * *		
	645	POTENCIAS	WI-01		WI-02			
	1 859-1-1	**************************************		**************************************		* * * * * * * * * *******		
	1 005	POTENCIAS	WI-01A		WI-02A		IN	~
	(¢			00				
Message								- 1
Ready						X:483 Y:80	1024 x 686 Select	

Figura 47: Pantalla de creación de control drawing.

2.0.4 Configuración del Protocolo Modbus Master

El driver Modbus Master, incluido como estándar, permite a la DCS comunicarse con subsistemas a través del protocolo Modbus/RTU, realizando todas las tareas de adquisición de datos desde el esclavo.

t View	rools Window	нер	. [
3 <u>a</u>	አ 🖻 🛍 ⊭	2 🔟 💻								
r	Element	: Buffer	Program Name	Size	Port	IP Address	Station	Device&Address	Data Type	
_ [%WW0001	170	K1-3-8MODBUS	10	1		1	A30001	Input(16-Bit Signed)	
	%WW0002	*	*	*	*	*	*	*	*	
	\$WW0003	*	*	*	*	*	*	*	*	
	%WW0004	*	*	*	*	*	*	*	*	
	%WW0005	*	*	*	*	*	*	*	*	
	%WW0006	*	*	*	*	*	*	*	*	
	\$WW0007	*	*	*	*	*	*	*	*	
	800008	*	*	*	*	*	*	÷	*	
	\$WW0009	*	*	*	*	*	*	*	*	
	%WW0010	*	*	*	*	*	*	*	*	
1	%WW0011	*	*	10	1		1	A30005	Input(16-Bit Signed)	
	%WW0012	*	*	*	*	*	*	*	*	
1	%WW0013	*	*	*	*	*	*	*	*	
	% WW0014	*	*	*	*	*	*	*	*	
1	%WW0015	*	*	*	*	*	*	*	*	
	%WW0016	*	*	*	*	*	*	*	*	
- 1	%WW0017	*	*	*	*	*	*	*	*	
	%WW0018	*	*	*	*	*	*	*	*	
	%WW0019	*	*	*	*	*	*	*	*	
	\$WW0020	*	*	*	*	*	*	*	*	
	%ww0021	*	*	10	1		1	A30011	Input(16-Bit Signed)	
	1 ST.W.10022	*	*	*	*	*	*	*	*	
	(*	*	*	*	*	*	*	*	

Figura 48: Ventana de configuración del protocolo Modbus Master

Este driver se configuro desde la estación de ingeniería a través de la aplicación "comunication I/O builder" (figura 48) de la suite System View CS3000, ingresando los siguientes parámetros:

- Dirección del Esclavo (Station): La dirección de esclavo dada al reconectador fue la 1 (01h). Recordemos que la dirección 0 (00h) esta reservada exclusivamente para los mensajes de difusión broadcast, por lo que no esta disponible como dirección de esclavo.
- Direcciones de los Registros de Entrada (Device Address): En la tabla 7 se listan las direcciones de los registros de entrada que se leen del reconectador a traves de la función 04H (ver tabla 4), junto con el tipo de dato que contiene cada registro.

Indicador	Dirección	Tipo de dato
II-01	30001	Input (16-bits)
II-02	30002	Input (16-bits)
II-03	30003	Input (16-bits)
EI-01	30005	Input (16-bits)
EI-02	30006	Input (16-bits)
EI-03	30007	Input (16-bits)
EI-01A	30011	Input (16-bits)
EI-02A	30012	Input (16-bits)
EI-03A	30013	Input (16-bits)
WI-01	30017	Input (16-bits)
WI-02	30018	Input (16-bits)
WI-03	30019	Input (16-bits)
WI-01A	30020	Input (16-bits)
WI-02A	30021	Input (16-bits)
WI-03A	30022	Input (16-bits)
WI-01B	30026	Input (16-bits)
WI-03B	30028	Input (16-bits)

Tabla 7: Direcciones de registros de entrada a leer del reconectador.

- Buffer Interno: Se definió un buffer de 170 registros (16-bits cada registro) donde se almacenan temporalmente los datos obtenidos de la comunicación con el reconectador, mientras esperan ser procesados por la estación de control. De estos 170 registros del buffer se asignaron 10 (size) por parámetro eléctrico a leer.
- Interfaz de Comunicación (port): La comunicación pudo hacerse a través de cualquiera de los dos puertos disponibles en la tarjeta ALR121, sin embargo se optó por utilizar el puerto 1 (channel 1), configurándolo en base a los parámetros de la tabla 8.
| Tipo de Interfaz | RS485 |
|---------------------|-------------|
| Modo de transmisión | Half Duplex |
| Velocidad | 9600bps |
| Paridad | NONE |

Tabla 8: Parámetros de configuración del puerto 1 de la tarjeta ALR121

2.0.5 Interfaz Gráfica

Para el monitoreo de las variables eléctricas se diseño una interfaz grafica muy simple que mantiene las misma estructura de las demás pantallas del proceso productivo de la planta. Desde esta interfaz se visualizan a través de cuadros de texto los últimos valores tomados por los indicadores del sistema. Además, se le agregaron botones de acceso rápido al menú principal, tendencias del sistema y las principales pantallas del proceso productivo. La interfaz puede ser visualizada desde todas las HIS de la sala de control, incluida la estación de ingeniería.



Figura 49: Ventana de visualización del consumo eléctrico

2.1 CONFIGURACIÓN DEL ESCLAVO MODBUS

Para realizar la configuración del reconectador como esclavo Modbus se utilizaron las características que se aprecian en la tabla 9.

Protocolo	Modbus/RTU
Interfaz de comunicación	RS485
Dirección de esclavo	1
Modo de transmisión	Half Duplex
Velocidad	9600bps
Paridad	NONE

Tabla 9: Parámetros de configuración del reconectador como esclavo.

Estos parámetros de configuración se ingresaron desde el gabinete de control y comunicaciones a través de los menús desplegables del panel de operador (figura 5), como lo esquematizan las figuras siguientes:



Figura 50: Menú de selección del protocolo Modbus para reconectador



Figura 51: Menú de selección de la Interfaz RS485 del reconectador



Figura 52: Menú para la asignación de dirección de esclavo al reconectador



Figura 53: Menú de selección del modo de transmisión Half en el Reconectador



Figura 54: Menú de selección del baud rate para comunicación del reconectador



Figura 55: Menú de selección tipo de paridad para comunicación del reconectador

2.2 CONFIGURACIÓN DE LOS MODULOS LM96

Los módulos LM96 se configuraron a través del grupo de 5 jumpers (JP2), definidos como ABCDE respectivamente, con los parámetros definidos en la tabla 10.

Interfaz de Comunicación	RS485
Canal de Comunicación	6
Paridad	8E1

Tabla 10: Parámetros de configuración de los módulos LM96

Por medio de los Jumpers ABC se configuro el canal de comunicación como el número 6, para ello fue necesario cortocircuitar el jumper A y dejar sin cortocircuito los jumpers BC.

Canal N ^o	Frecuencia				
CBA= 110 (6)	433.1580MHz				

Tabla 11: Canal de comunicación para los modulo LM96

Para configurar la interfaz de comunicación como RS485, se debió dejar sin cortocircuitar el jumper D. Mientras que para definir la paridad como 8E1 fue necesario cortocircuitar el jumper E. En resumen el jumper JP2 se configuro tal como lo muestra la figura 56.



Figura 56: Configuración jumper JP2 de los módulos LM96

CAPITULO III

CONEXIONES FÍSICAS

El Standard de comunicaciones RS485 permite la conexión de más de un equipo mediante solamente dos conductores. Sin embargo, es recomendable conectar un tercer conductor a tierra y a las pantallas de los cables de comunicaciones con el fin de proporcionar a la línea una protección adicional a las interferencias. Es por esta razón que la conexión de los equipos remotos (DCS y Reconectador) con los módulos LM96 se llevo a cabo mediante un bus RS485 Half Duplex de tres conductores, dos para las señales balanceadas de transmisión/recepción mas uno adicional de tierra.

3.0 CONEXIÓN RECONECTADOR-MODULO LM96

Antes de conectar estos dispositivos fue necesario configurar el Terminal XS1 del reconectador como una interfaz Half Duplex (figura 9), para ello se debió unir las señales marcadas como TX- con RX- y, a su vez, las señales marcadas como TX+ con RX+.



	SGND	7
	RX-	6
	RX+	5
XS1	TX-	4
	TX+	3
	GND	2
	+12V	1

Figura 57: Pines puerto RS485 Reconectador

Para realizar la conexión entre el reconectador y el modulo LM96, se unieron las señales RX+ y RX- del Terminal XS1 con las señales TX+ y TX- del conector JP1 tal como lo muestra la figura 58.



Figura 58: Conexión reconectador-LM96

3.1 CONEXIÓN TARJETA ALR121-MODULO LM96

Para conectar la tarjeta ALR121 con el modulo LM96 se unieron las señales RX+ y RX- del CH1 con las señales TX+ y TX- del conector JP1 (figura 59). Adicionalmente, se conecto una resistencia de terminación de 120 Ω entre RX+ y RX- para evitar que las comunicaciones se vuelvan inestables.



Figura 59: Conexión ALR121-LM96

3.2 CONEXIÓN MODULO LM96-FUENTE SWITCHING

La conexión entre el modulo LM96 y la fuente switching se realizo uniendo las señales Vcc y GND del conector JP1 con las señales DC+ y DC- de la fuente (figura 60). Además, los terminales de entrada de la fuente se conectaron directamente a la línea eléctrica de los 220Vac.



Figura 60: Conexión LM96-Fuente Switching

CAPITULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

4.1 UBICACIÓN DE LA DCS Y EL RECONECTADOR

La DCS CENTUM esta instalada en el tercer piso del edificio de Fermentación, específicamente en la Sala de Control. Por su parte el Reconectador esta instalado sobre un poste del tendido eléctrico de media tensión (figura 61), a una distancia de aproximadamente 110 metros de sala de control.



Figura 61: Ubicación Reconectador y DCS



Figura 62: Vista espacial ubicación DCS y Reconectador

4.2 MONTAJE DE LOS MODULOS LM96 Y FUENTE SWITCHING

Estas tarjetas integradas se montaron sobre las terrazas de los edificios de Fermentación y Sistemas Computacionales, en una ubicación donde las antenas de los módulos LM96 tienen línea visual directa.



Figura 63: Vista espacial de ubicación de las tarjetas integradas



Figura 64: Vista lateral de ubicación de las tarjetas integradas

El modulo LM96 instalado sobre la terraza de fermentación esta conectado por el bus RS485 a la DCS y el modulo LM96 instalado sobre la terraza de sistemas esta conectado por el bus RS485 al Reconectador.

4.2.1 Cajas de Protección

Para proteger a las tarjetas integradas de las condiciones climáticas a las que estarán sometidas en las terrazas, estas se debieron instalar dentro de dos cajas de protección. Una caja de aluminio de 152mmx82mmx50mm, que cumple con la norma IP65, donde se montaron físicamente las tarjetas integradas (figura 65). Y una caja estanca hermética de 240mmx180mmx90mm fabricada de material termoplástico resistente a la humedad, el calor y el fuego, donde se monto la caja de aluminio más pequeña (figura 66).



Figura 65: Caja aluminio para montaje modulo LM96 y fuente Switching



Figura 66: Caja estanca para montaje de la caja de aluminio

A la caja de aluminio se le agrego un Terminal DB9 macho para conectar el cable de datos y un conector SMA hembra para el cable de extensión de antena.

4.2.2 Mástil de Soporte

Las cajas estancas se fijaron a las terrazas de los edificios a través de unos mástiles de soporte, diseñados exclusivamente para permitir un fácil acceso a las tarjetas integradas durante las tareas de mantenimiento.



Figura 67: Soporte para cajas estaca

Cada soporte posee una placa metálica para el montaje de la caja estanca, una base para fijarlo al suelo y tres anillos para los tensores. Además, se les hizo un orificio en la parte media del mástil para introducir el cable de extensión de antena y unirlo en la punta con la antena del modulo LM96.

4.2.3 Instalación de los Soportes

Las bases de los soportes se anclaron a las terrazas de los edificios por medio de cuatro pernos de expansión.



Figura 68: Anclaje de las soportes a las terrazas

Para brindarle protección contra las ráfagas de viento, al soporte instalado en la terraza del edificio de Sistemas se la agregaron tres tensores con una separación de 120° entre ellos (figura 69). Al soporte instalado en la terraza de Fermentación no se le agregaron tensores, pero se sujeto en su parte media a una caseta de cemento a través de pernos de anclaje (figura 70).



Figura 69: Vientos para mástil de soporte.



Figura 70: Soporte superior para ráfagas de viento.

4.3 CABLEADO DE LOS EQUIPOS

Para el bus RS485 se utilizo un cable de cobre multifilar estañado de 1.5 pares a 24 AWG, con pantalla de cinta de aluminio y poliéster, y un cable de descarga para la terminación de la pantalla. Por su parte, para energizar las fuentes switching se utilizo cable de manguera siliconada de 3x0.75mm².



Figura 71: Cable datos y alimentación

4.3.1 Cableado DCS-Modulo LM96

Siguiendo el esquema de la figura 57, uno de los extremos del cable RS485 se conecto a la bornera de la tarjeta ALR121 y el otro extremo, a través de un conector DB9 hembra, al Terminal JP1 del modulo LM96.



Figura 72: Cableado DCS-Modulo LM96

4.3.2 Cableado Reconectador-Modulo LM96

Siguiendo el esquema de la figura 56, uno de los extremos del cable RS485 se conecto al Terminal XS1 del Reconectador y el otro extremo, a través de un conector DB9 hembra, al Terminal JP1 del modulo LM96.



Figura 73: Cableado Reconectador-Modulo LM96

4.3.3 Cable de extensión de antena

Uno de los extremos del cable de extensión se conecto al Terminal SMA hembra de la caja de protección y el otro extremo a la antena de 433Mhz montada en la punta del mástil. Para proteger al cable de extensión de las inclemencias del tiempo, este se hizo pasar por el interior del mástil.



Figura 74: Instalación cable de extensión de antena

4.4 CANALIZACIÓN

Dependiendo del sector de la planta por donde debían pasar los cables de datos y alimentación, estos se introdujeron dentro de tuberías galvanizadas, PVC o de conduit flexible.

4.4.1 Canalización con Conduit Flexible

Sobre las terrazas de los edificios se instalaron cajas de distribución galvanizadas. Entre estas últimas y las cajas estancas de los soportes se utilizo conduit flexible, por ser un material moldeable a la forma del mástil y al terreno.



Figura 75: Canalización cajas de distribución-mástil de soporte

4.4.2 Canalización con Tubería Galvanizada

Este tipo de tubería se utilizo entre la caja de distribución instalada sobre la terraza de fermentación y la DCS, debido a que el sector por donde debe pasar el cableado (4to y 5to piso de fermentación) esta sometido a temperatura y ruido elevado.



Figura 76: Canalización DCS-caja de distribución

4.4.3 Canalización con Tubería de PVC

Entre el gabinete de control del Reconectador y la caja de distribución instalada sobre la terraza de sistemas se utilizo tubería de PVC, por ser la alternativa más conveniente para proteger al cableado de este tramo que esta a la intemperie.



Figura 77: Canalización Reconectador-caja de distribución

CAPITULO V

APLICACIÓN DE "SUMINISTRO

ELECTRICO"

5.0 DESCRIPCIÓN

La aplicación para monitorear el consumo eléctrico de la planta, esta disponible en todas las estaciones de operador de la sala de control, incluso en la estación de ingeniería. Desde ella es posible visualizar el consumo instantáneo de potencia eléctrica y generar las graficas de tendencias para los indicadores del sistema.

Esta aplicación esta hecha en ambiente Yokogawa, manteniendo el mismo entorno grafico de trabajo que las demás pantallas del proceso productivo.

5.1 INICIALIZACIÓN DE LA APLICACIÓN

Existen varias formas de iniciar la aplicación de Suministro Eléctrico, pero las más utilizadas son a través de la "Ventana de Mensajes del Sistema" y el "Menú Principal".

5.1.1 Ventana de Mensajes del Sistema

La ventana de mensajes del Sistema es una aplicación Yokogawa que esta siempre visible en la parte superior de las pantallas de las HIS, es decir, nunca pierde el foco aun cuando se abran varias ventanas Yokogawa o de Windows. Presionando en ella el botón were aparece una ventana donde se debe escribir el nombre de la aplicación que se desea ejecutar, en este caso "SUMINISTRO ELECTRICO", seguidamente se presiona el botón se do nomestra la siguiente figura:

<u>i i i 20</u> Q				4/24/2008 9:07 AM
BTC-1	BOMBA DE TC1	ANS-	•	.
		Input Window Name		
		SUMINISTRO ELECTRICO	▼ <u>S</u> tn	

Figura 78: Ventana de mensajes del sistema

5.1.2 Menú Principal

El menú principal es una pantalla grafica que da acceso rápido a todas las aplicaciones creadas en el CENTUM para controlar y supervisar el funcionamiento de la planta. Esta compuesto por una serie de botones, cada uno de los cuales es capaz de llamar a una aplicación especifica del proceso productivo.

Para iniciar la aplicación basta con dar un clic sobre el botón "SUMINISTRO ELECTRICO" ubicado en la esquina inferior derecha de la pantalla menú.



Figura 79: Menú Principal

5.2 VISUALIZACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO

A través de la aplicación de Suministro Eléctrico es posible visualizar, en una misma pantalla gráfica, los últimos parámetros eléctricos instantáneos leídos desde el Reconectador. Como se observa en la figura 80, los parámetros están agrupados por tipo de variable eléctrica, especificándose además la fase y el indicador de sistema asociado a cada uno de ellos.



Figura 80: Pantalla de Suministro Eléctrico

5.3 GRÁFICAS DE TENDENCIAS

Tendencias es una herramienta Yokogawa que nos permite adquirir los datos del proceso, almacenarlo en función del tiempo y mostrarlos en forma de gráficas. Para acceder a ella se debe presionar el botón **TENDENCIAS** que esta en la parte inferior de la ventana de "Suministro Eléctrico", generándose automáticamente la siguiente pantalla:



Figura 81: Ventana de tendencias del sistema.

5.3.1 Índice de Marca

En la parte superior del cuadro de las graficas se observa una pequeña flecha celeste llamada índice de marca. Si se mueve esta flecha de forma horizontal, en función del eje del tiempo, es posible ver en los registros de la derecha los valores pasados de los parámetros eléctricos.

5.3.2 Ventana de instrumentos

La ventana de instrumentos nos muestra no solo el valor instantáneo de un parámetro en particular, sino también sus límites máximos y mínimos. Se accede a ella desde la ventana de tendencias, dando doble clic sobre el registro del parámetro correspondiente.

Como ejemplo en la figura 82 se muestra la ventana de instrumento WI-03B, en donde se dio doble clic en el registro de Potencia Activa Total.



Figura 82: Variables instantáneas desde pantalla tendencias

5.3.3 Filtrar Graficas de Tendencias

Cuando se ingresa a las tendencias del sistema se nos muestra en un mismo espacio todas las graficas de los parámetros eléctricos. Si se quisiera visualizar la grafica de un parámetro en particular o un grupo específico de ellos, lo que se debe hacer es filtrar los que no se necesiten. Para ello se debe presionar el botón \swarrow y en la ventana que aparece desmarcar todos los parámetros que no se deseen visualizar en la grafica de tendencias.



Figura 83: Selección de variables a mostrar en pantalla tendencias

Como ejemplo, en la figura 84 se muestra la ventana de tendencias en la que se han filtrado todos los parámetros excepto el de potencia activa total.



Figura 84: Tendencia de Potencia Activa Total.

5.3.4 Comprimir y Expandir Gráficas

En un análisis de las tendencias puede que sea necesario comprimir las graficas para observar en la ventana una mayor cantidad de información o expandirlas para observar en más detalle un determinado comportamiento.

Cada vez que se presione el botón is producirá una compresión progresiva de las graficas, por lo que la cantidad de veces que se presione el botón dependerá de si se ha conseguido o no la compresión deseada.



Figura 85: Compresión grafica de tendencias

Si lo que se desea es una expansión de las graficas se debe presionar el botón tal como se explico para la compresión.

5.3.5 Exportar Datos

La ventana de tendencias nos permite exportar toda la información de los parámetros eléctricos en un archivo con formato RTF. Este formato es un lenguaje de descripción desarrollado por Microsoft para intercambiar información entre programas. Lo pueden leer todos los programas de procesamiento de textos de mayor difusión, como también aplicaciones de bases de datos, clientes de correo electrónico y otros sistemas operativos como Unix y Macintosh. Para exportar los datos se debe presionar el botón *que nos entrega la lista con todos los parámetros disponibles.*



Figura 86: Pantalla de selección de variables a exportar

Una vez visualizados los parámetros exportables se debe dar un nombre al archivo y especificar el lugar donde se almacenara.



Figura 87: Pantalla para guardar archivo con datos exportados

5.4 VISUALIZACIÓN DE ALARMAS

La forma de alertar de un mal funcionamiento del Hardware o una anormalidad en el sistema, es a través del parpadeo constante del botón : (call up process alarm windows), presente en la ventana de mensajes de sistema.

10	0.00	😫 🗐 📷 🚅 🔝 💠 NAME 🖓	Сору		4/24/2008 9:07 AM
	BTC-1	BOMBA DE TC1	ANS-	•	

Figura 88: Notificación de alarmas

Presionando este botón aparece una ventana informando de las últimas alarmas en el orden en que se produjeron. Si se desea ver el detalle de una alarma específica bastara con dar un doble clic sobre ella.

.AL	. Proc	cess Alar	m								
B	\checkmark	彩目	₽ ⊳ IE;								
1		12/12	10:18:15	FIC005	Flowrate	5	NR	33.0M3/	н	NR	
2[12/12	10:18:15	FIC005	Flowrate	5	LO	33.0M3/	н	NR	
3		12/12	10:18:05	Tank level error	NR						
4		12/12	10:17:45	FIC005	Flowrate	5	LO				
5		12/12	10:17:45	Tank level error	ALM						
6	•	12/12	10:17:45	Tank temp error	ALM						
7		12/12	10:17:15	Pump fail			NR				
8		12/12	10:17:15	Pump fail			ALM				
9		12/12	10:17:05	FIC004	Flowrate	4	DV+	50.0M3/	н	DV+	
10		12/12	10:16:45	FIC003	Flowrate	3	HH	12.0M3/	н	HH	
Ready				Range: All		Type: All			10/1	0	

Figura 89: Ventana de alarmas de sistema

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO
6.0 CONCLUSIONES

En la red implementada se integraron eficientemente enlaces RS485 e inalámbricos, demostrándose que el Reconectador NOJA puede ser supervisado remotamente desde la DCS Yokogawa mediante el estándar de comunicación Modbus.

Utilizar un estándar universal como es el protocolo Modbus generó grandes facilidades para el diseño, instalación y configuración del sistema. Esto debido a que los dispositivos remotos (Reconectador y DCS) ya contaban con este protocolo implementado de fábrica, lo que desecho la necesidad de crear un programa de comunicaciones especifico para la aplicación.

Si bien existía la posibilidad de utilizar indistintamente a RS232 o RS485 como interfaz de comunicación, se opto por esta última debido principalmente a que utiliza líneas de transmisión balanceadas que reducen considerablemente el factor ruido y permiten una gran longitud de la línea (del orden del kilómetro). Todo lo contrario a la interfaz RS232 que es más susceptible al ruido, por lo que no es adecuada para ambientes industriales. Además con RS232 solo es posible conseguir enlaces punto a punto y a cortas distancias (hasta 15 metros), impidiéndose un crecimiento futuro de la Red.

Fue necesario instalar los módulos LM96 en las terrazas de los edificios de Fermentación y Sistemas Computaciones, pues en esta ubicación se produce la mejor propagación de las señales de radiofrecuencia. A una altura menor, la gran cantidad de obstrucciones existentes en planta (estanques de acero inoxidable y edificios de concreto reforzado) producen la reflexión de gran parte de la señal transmitida, reduciéndose considerablemente el alcance y la calidad de la señal principal.

El sistema es capaz de detectar errores en los datos recibidos, pero no los puede corregir. A nivel de capa de enlace la detección se realiza a través de un Código de Redundancia Cíclica (CRC) de

16-bits. Otro nivel de detección lo generan los módulos LM96 que internamente filtran cualquier dato erróneo recibido desde el aire.

Como la gran mayoría de los sistemas de control de planta están regulados y supervisados por la DCS Yokogawa, su utilización facilita las tareas de configuración y manejo del sistema ya que se mantiene el mismo entorno de trabajo industrial.

Uno de los puntos críticos del sistema lo generan los módulos LM96, pues si el enlace entre ellos falla se pierde completamente la comunicación. Es por esta razón que en el apartado de mejoras se plantea la utilización de un sistema redundante.

La principal ventaja de la solución es que permite visualizar el consumo eléctrico online, es decir, en la medida que dichos niveles de potencia se están consumiendo. Evitando que el personal ingrese a localizaciones de alto voltaje para obtener dicha información a través de una lectura local en el Reconectador.

6.1 MEJORAS

Se podría aumentar la confiabilidad del Sistema utilizando dos radioenlaces que transmitan la misma información, pero por canales distintos. Uno de estos enlaces estaría configurado como principal y en estado activo. Mientras que el otro estaría en estado de reserva escuchando la comunicación del enlace activo. Si la comunicación del enlace activo fallara entraría en funcionamiento automáticamente el de reserva. Además seria necesario generar un mensaje en las estaciones de operador indicando que el enlace primario ha fallado y que el enlace de reserva ha asumido la comunicación.



6.2 LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

A corto plazo se implementara una red de medidores de consumo que nos permitan hacer un análisis más completo del comportamiento del consumo eléctrico diario, determinando las áreas, procesos y maquinarias de la empresa que consumen más energía. Estos medidores serán incorporados a la red Modbus como dispositivos esclavos.

El escalón siguiente será la generación de acciones de control, la idea es que de acuerdo a una lógica y a la información recibida el sistema comience, si es necesario, a desconectar consumos hasta alcanzar un nivel de demanda preestablecido. En la medida que la demanda general disminuya, el sistema automáticamente debe comenzar a reconectar consumos, pero sin infringir los límites predefinidos de un Setpoint.

El escalón siguiente será la generación de acciones de control, la idea es que de acuerdo a una lógica y a la información recibida el sistema comience, si es necesario, a desconectar consumos hasta alcanzar un nivel de demanda preestablecido. En la medida que la demanda general disminuya, el sistema automáticamente debe comenzar a reconectar consumos, pero sin infringir los límites predefinidos de un Setpoint.

Referencias Bibliográficas

- Nakahara M., "System Architecture of CENTUM CS 1000," Yokogawa Technical Report, No. 26, pp. 1-5, 1998.
- [2] Ura, Naoki, et al. "Human Interface Software Based on Windows NT" Yokogawa Technical Report, Vol. 42, No. 1, pp. 15-18, 1998.
- [3] Sato Masahito, "Engineering Function of CENTUM CS" Yokogawa Technical Report, Vol. 43, No 1, 1999, pp. 17-20.
- [4] Modicon MODBUS protocol reference guide: PI-MBUS-300 Rev. J. Massachusetts: MODICON, Inc., Industrial Automation Systems, 1996.
- [5] MODBUS over serial line: Specification & Implementation guide V1.0. [s.l.]: Modbus Organization, Inc. 2002.
- [6] MODBUS-IDA: the architecture for distributed automation. USA: Modbus Organization, Inc, 2005. www.modbus.org
- [7] MODBUS.PL Modbus RTU, Modbus TCP/IP in embedded systems. Polonia: [s.n.], 2004.www.modbus.pl
- [8] "User Manual OSM Automatic Circuit Recloser", 15kw Models With RC01ES Control.
- [9] Specification TEA-508 OSM Automatic Circuit Recloser, Modbus Protocol Implementation.
- [10] "SCADA Interface Description NOJA 520", OSM Automatic Circuit Recloser.

- [11] User Manual HAC-LM96 Ultra low Power Data Radio Module.
- [12] TI 33Q01B19-01E "Technical Information" CENTUM CS 3000 Integrated Production Control System.
- [13] GS 33Q03L20-33E "Technical Information" Model LFS2410 FA-M3 Communication Package (for ALR111, ALR121).
- [14] GC-M02 Rel 06.: Telegestión a través de serial RS232C ó RS485. Italia: AEZ, 2003.