



RESUMEN

El presente proyecto de tesis tiene como objetivo proponer el diseño de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA); en base a la tecnología actual, para monitorear en tiempo real y en forma individual cada uno de los procesos de la Planta de Fuerza del Molino Papelero Cartopel.

La Planta de Fuerza hasta la actualidad está conformada por cinco procesos que son indispensables para el proceso de fabricación del papel y son: Distribución de la Energía Eléctrica, Generación de Vapor, Producción de Agua Tratada, Producción de Aire Comprimido, Recuperación de Agua y Pasta.

Para la realización del proyecto primero se realiza la descripción de cada uno de los procesos, para luego hacer un levantamiento técnico de los equipos existentes en planta de fuerza y determinar las variables a medir y controlar.

Posteriormente se presenta una solución de hardware en donde se puede apreciar equipos tales como instrumentación de medición y control, transmisores, PLC's, switch; para luego dar a conocer un costo aproximado de la implementación del proyecto.

Finalmente se muestra una solución de software realizada en el programa HMI SIMATIC WINCC flexible 2008, el cual nos permite crear y editar proyectos de supervisión y control en el ámbito de las instalaciones industriales por medio de paneles de operador en base a los requerimientos de la empresa.



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ÍNDICE DE CONTENIDO	2
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE ANEXOS	13
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	14
1.1. Antecedentes.	14
1.2. Alcance.	18
1.3. Justificación.	18
1.4. Objetivos.	19
1.4.1. Objetivo General.	19
1.4.2. Objetivos Específicos.	19
1.5. Plan de Ejecución del Proyecto.	20
CAPITULO 2: DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES DE LA PLANTA DE FUERZA DEL MOLINO PAPELERO CARTOPEL	22
2.1. Introducción.	22
2.2. Descripción del Proceso de Distribución de Energía Eléctrica.	23
2.3. Descripción del Proceso de Producción de Agua Tratada.	28
2.4. Descripción del Proceso de Producción de Vapor.	31
2.5. Descripción del Proceso de Producción de Aire Comprimido.	33
2.6. Descripción del Proceso de Recuperación de Agua y Pasta.	35

3.1.	Introducción.	37
3.2.	Códigos de identificación de equipos en la Planta de Fuerza.	37
3.3.	Determinación de las variables a medir y controlar en el Proceso de Distribución de Energía Eléctrica.	38
3.4.	Determinación de las variables a medir y controlar en el Proceso de Producción de Agua Tratada.	42
3.5.	Determinación de las variables a medir y controlar en el Proceso de Producción de Vapor.	45
3.6.	Determinación de las variables a medir y controlar en el Proceso de Producción de Aire Comprimido.	52
3.7.	Determinación de las variables a medir y controlar en el Proceso de Recuperación de agua y pasta.	53

4.1.	Los sistemas de Control Industrial.	55
4.1.1.	Introducción.	55
4.1.2.	Los sistemas de Control.	56
4.1.3.	Los primeros Autómatas Programables Industriales.	58
4.1.4.	Los sistemas de visualización.	60
4.1.5.	Controladores Lógicos Programables (PLC).	61
4.1.5.1.	Características.	61
4.1.5.2.	Arquitectura de un PLC.	62
4.2.	Los sistemas SCADA.	64
4.2.1.	Prestaciones de un Sistema SCADA.	65
4.2.2.	Beneficios mediante el Sistema SCADA.	67
4.2.3.	Arquitectura de un Sistema SCADA.	68



4.2.3.1. Introducción.	68
4.2.3.2. Componentes de Hardware.	68
4.2.3.2.1. Interface Hombre-Máquina o HMI (<i>Human Machine Interface</i>).	70
4.2.3.2.2. Unidad Central o MTU (<i>Master Terminal Unit</i>).	71
4.2.3.2.3. Unidad Remota o RTU (<i>Remote Terminal Unit</i>).	72
4.2.3.2.4. Sistema de Comunicaciones.	73
4.2.3.2.5. Topologías.	74
4.2.3.2.6. Instrumentos de Campo.	76
4.2.3.3. Estructura y componentes de un Software SCADA.	76
4.2.4. Tipos de Software SCADA.	80
4.2.4.1. SIMATIC WINCC flexible.	81
4.3. Redes de Comunicación Industrial.	84
4.3.1. Introducción.	84
4.3.2. Sistemas de Transmisión de la Señal.	86
4.3.2.1. Niveles de Tensión.	86
4.3.2.2. Bucle de Corriente.	88
4.3.3. Protocolos de Comunicación.	89
4.3.4. Topología de Redes.	91
4.3.4.1. Redes Centralizadas (<i>Clustered Systems</i>).	91
4.3.4.2. Redes Distribuidas (<i>Distributed Systems</i>).	91
4.3.5. Relaciones entre Estaciones.	95
4.3.5.1. Modos de Comunicación.	95
4.3.5.2. Formas de Organización de Nodos.	96
4.3.5.2.1. Maestro-Esclavo.	97
4.3.6. La Pirámide de las Comunicaciones.	97
4.3.6.1. Nivel de Oficina.	98
4.3.6.2. Nivel de Planta.	98
4.3.6.3. Nivel de Célula.	98
4.3.6.4. Nivel de Campo.	99



4.3.7. Tipos de Redes de Comunicación Industrial.	99
4.3.7.1. Red de Comunicación Industrial AS-i.	99
4.3.7.2. Red de Comunicación Industrial Profibus.	100
4.3.7.3. Red de Comunicación Industrial Ethernet.	102
4.3.7.4. Red de Comunicación Industrial Profinet.	102
CAPITULO 5: DISEÑO DEL SISTEMA SCADA.	103
5.1. Diseño del Sistema SCADA para el Proceso de Distribución de Energía Eléctrica.	103
5.1.1. Instrumentación para la medición de parámetros en los Transformadores.	103
5.1.1.1. Transformadores de Instrumentos para la conexión del equipo SENTRON PAC 3200.	105
5.1.2. Señalización de los Seccionadores.	109
5.2. Diseño del sistema SCADA para el Proceso de Producción de Agua Tratada.	110
5.2.1. Instrumentación para medir el Caudal de Ingreso a la Planta.	110
5.2.1.1 Control del Caudal de Ingreso de Agua a la Planta.	115
5.2.2. Instrumentación para medir el Caudal de Agua proveniente de las Bombas de Agua de los Procesos.	117
5.2.3. Instrumentación para medición de Presión en los filtros de grava.	117
5.2.4. Instrumentación para la señalización ON-OFF de las Bombas Trifásicas del proceso.	119
5.3. Diseño del Sistema SCADA para el Proceso de Producción de Aire Comprimido.	120
5.3.1. Instrumentación para medición de la Presión del Tanque Acumulador Pulmón.	120



5.3.2. Instrumentación para medición de la Presión en las Derivaciones para cada uno de los procesos.	121
5.4. Diseño del sistema SCADA para el Proceso de Producción de Recuperación de efluentes.	122
5.4.1. Instrumentación para medir el Caudal a la salida de la Bomba de Agua hacia Tanque 12.	122
5.4.2 Instrumentación para la medición del Caudal a la salida de la Bomba de Extracción de Pasta.	122
5.4.3. Instrumentación para la Señalización ON-OFF de las Bombas del proceso de Recuperación de Efluentes.	124
5.5. Diseño del Sistema SCADA para el proceso de Producción de Vapor.	126
5.5.1. Instrumentación para la medición de la Temperatura del combustible que ingresa a las Calderas.	126
5.5.2. Instrumentación para la medición del Caudal de ingreso de Agua a las Calderas.	128
5.5.3. Instrumentación para la medición de la temperatura de los gases en la chimenea de las calderas.	128
5.5.4. Instrumentación para la medición del nivel de bunker en el Tanque diario de combustible.	131
5.5.4.1. Control del nivel de bunker en Tanque diario de combustible.	134
5.5.5. Instrumentación para la señalización ON-OFF de las Bombas del proceso de Producción de vapor.	135
5.6. Determinación del número total de señales.	137
5.7. Determinación del PLC a utilizar.	139
5.8. PLC y módulos de ampliación para cada proceso.	146
5.8.1. Proceso de Distribución de Energía Eléctrica.	146
5.8.2. Proceso de Producción de Agua Tratada.	147
5.8.3. Proceso de Producción de Aire Comprimido.	147
5.8.4. Proceso de Recuperación de Efluentes.	147
5.8.5. Proceso de Producción de Vapor.	148



5.9. Diseño de la Red.	148
5.10. Lista de precios de los equipos utilizados para el Sistema SCADA	150
CAPITULO 6: DISEÑO DEL DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA SCADA DE LA PLANTA DE FUERZA DEL MOLINO PAPELERO CARTOPEL.	155
6.1. Introducción.	155
6.2. Diagrama unifilar del Proceso de Distribución de Energía Eléctrica	156
6.3. Diagrama unifilar del Proceso de Producción de Vapor.	157
6.4. Diagrama unifilar del Proceso de Producción de Agua Tratada.	160
6.5. Diagrama unifilar del Proceso de Recuperación de Agua y Pasta.	161
6.6. Diagrama unifilar del Proceso de Producción de Aire Comprimido.	162
CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	163
7.1. Conclusiones.	163
7.2. Recomendaciones.	166
BIBLIOGRAFÍA.	169
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	170
ANEXOS.	172

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación geográfica Cartopel S.A.	15
Figura 1.2. Etapas del Plan de Ejecución del Proyecto.	20
Figura 2.1. Esquema de la Distribución de Energía Eléctrica.	23
Figura 2.2. Diagrama de la Distribución de Energía Eléctrica.	27
Figura 2.3. Esquema de la Producción de Agua Tratada.	28
Figura 2.4. Diagrama de la Producción de Agua Tratada.	30
Figura 2.5. Esquema de la Producción de Vapor.	31
Figura 2.6. Diagrama de la Producción de Vapor.	33
Figura 2.7. Esquema de la Producción de Aire Comprimido.	33
Figura 2.8. Diagrama de la Producción de Aire Comprimido.	34
Figura 2.9. Esquema de la Recuperación de Agua y Pasta.	35
Figura 2.10. Diagrama de la Recuperación de Agua y Pasta.	36
Figura 3.1. Disposición del Sistema de adquisición de datos para la distribución de energía Eléctrica.	39
Figura 3.2. Disposición del Sistema de adquisición de datos para la medición del nivel de agua en la piscina.	42
Figura 3.3. Disposición de sistema de adquisición de datos para la Producción de Vapor.	46
Figura 4.1. Sistema de Control.	56
Figura 4.2. Sistema de Control en Lazo Abierto.	57
Figura 4.3. Sistema de Control en Lazo Cerrado.	58
Figura 4.4. Arquitectura de un PLC estándar.	62
Figura 4.5. Estructura básica de un Sistema Scada.	68
Figura 4.6. Estructura básica de un Sistema Scada a nivel de Hardware.	69
Figura 4.7. Topología Punto a Punto.	74
Figura 4.8. Topología Multipunto dedicado.	74
Figura 4.9. Topología Multipunto compartido en estrella.	75
Figura 4.10. Topología Multipunto compartido en anillo.	75
Figura 4.11. Concepto de <i>driver</i> o controlador.	77
Figura 4.12. Asistente de Proyectos del WinCC flexible.	83



Figura 4.13. Ejemplo de una Interfaz de usuario mediante el software <i>RUNTIME</i> .	84
Figura 4.14. Ejemplo de un Control Centralizado.	85
Figura 4.15. Ejemplo de un Control Distribuido.	86
Figura 4.16. Topología en anillo.	92
Figura 4.17. Topología en estrella.	92
Figura 4.18. Topología en bus.	93
Figura 4.19. Topología en árbol.	94
Figura 4.20. Topología en Red.	94
Figura 4.21. Pirámide de las Comunicaciones.	98
Figura 5.1. SENTRON PAC 3200.	103
Figura 5.2. Tipo de conexión 3P4W, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente.	105
Figura 5.3. Transformador de corriente para TR3.	106
Figura 5.4. Transformador de corriente para TR4.	107
Figura 5.5. Transformador de corriente para TR5.	108
Figura 5.6. Transformador de corriente para TR9.	109
Figura 5.7. Sensor electromagnético SITRANS F M MAGFLO MAG 5100 W.	111
Figura 5.8. Medidor de caudal OCM III.	112
Figura 5.9. Diagrama de flujo para control de caudal de ingreso de agua a la planta.	115
Figura 5.10. Propuesta para reducción de costos en el control de caudal de ingreso de agua a la planta.	116
Figura 5.11. Válvula reguladora de caudal Hidromodul.	117
Figura 5.12. Transmisor de presión SITRANS P, serie Z para presión relativa y absoluta.	118
Figura 5.13. Diagrama de función del Transmisor de presión SITRANS P, serie Z.	118
Figura 5.14. Transmisor de presión SITRANS P, serie Z para presión relativa y absoluta (7MF1564-3CA00-1GA1).	121



Figura 5.15. Transmisor de presión SITRANS P, serie Z para presión relativa y absoluta (7MF1564-3CB00-1GA1).	121
Figura 5.16. Medidor de caudal SITRANS F M TRANSMAG 2.	123
Figura 5.17. Medidor digital SITRANS TF2.	126
Figura 5.18. Principio de funcionamiento del Medidor digital SITRANS TF2.	127
Figura 5.19. Termoresistencia para humos.	129
Figura 5.20. SITRANS TH100.	129
Figura 5.21. Diagrama de función, SITRANS TH100.	130
Figura 5.22. Sensor de nivel ultrasónico Pointek CLS 100.	131
Figura 5.23. Diagrama de flujo para control de nivel de combustible.	134
Figura 5.24. PLC S7-1200.	139
Figura 5.25. <i>Signal Board</i> para PLC S7-1200.	143
Figura 5.26. Módulos de señales para PLC S7-1200.	144
Figura 5.27. Módulos de comunicación para PLC S7-1200.	144
Figura 6.1. Pantalla principal del sistema Scada.	156
Figura 6.2. Diagrama Unifilar del Sistema Scada para el Proceso de Distribución de Energía Eléctrica.	157
Figura 6.3. Diagrama Unifilar del Sistema Scada para los Tanques de Combustible y Agua Tratada.	158
Figura 6.4. Diagrama Unifilar del Sistema Scada para las Calderas Fontana y Pelucchi.	159
Figura 6.5. Diagrama Unifilar del Sistema Scada para las Calderas Babcock Wilcox y Cleaver Brooks.	159
Figura 6.6. Diagrama Unifilar del Sistema Scada para el Proceso de Producción de Agua Tratada.	160
Figura 6.7. Diagrama Unifilar del Sistema Scada para el Proceso de Recuperación de Agua y Pasta.	161
Figura 6.8. Diagrama Unifilar del Sistema Scada para el Proceso de Producción de Aire Comprimido.	162



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Niveles de turbidez del agua en el desarenadero y dosificación de afluentes.	29
Tabla 3.1.	Ejemplo de lectura de los códigos de los equipos.	38
Tabla 3.2.	Medición existente en el Proceso de Producción de Energía Eléctrica.	41
Tabla 3.3.	SCADA propuesto en el Proceso de Producción de Energía Eléctrica.	41
Tabla 3.4.	Medición existente en el Proceso de Producción de Agua Tratada.	44
Tabla 3.5.	SCADA propuesto en el Proceso de Producción de Agua Tratada.	44
Tabla 3.6.	Medición existente en el Proceso de Producción de Vapor.	48
Tabla 3.7.	SCADA propuesto en el Proceso de Producción de Vapor.	49
Tabla 3.8.	SCADA propuesto en el Proceso de Producción de Aire Comprimido.	52
Tabla 3.9.	SCADA propuesto en el Proceso de Recuperación de Agua y Pasta.	54
Tabla 4.1.	Resumen de Niveles de Tensión	88
Tabla 4.2.	Datos técnicos de la red de campo AS-i.	100
Tabla 4.3.	Datos técnicos de la red PROFIBUS DP	101
Tabla 5.1.	Datos de placa del Transformador TR-3.	105
Tabla 5.2.	Detalles técnicos del TC para TR-3.	106
Tabla 5.3.	Datos de placa del Transformador TR-4.	106
Tabla 5.4.	Detalles técnicos del TC para TR-4.	107
Tabla 5.5.	Datos de placa del Transformador TR-5.	107
Tabla 5.6.	Detalles técnicos del TC para TR-5.	108
Tabla 5.7.	Datos de placa del Transformador TR-9.	108
Tabla 5.8.	Detalles técnicos del TC para TR-9.	109
Tabla 5.9.	Especificaciones técnicas del medidor OCM-III.	114



Tabla 5.10.	Características eléctricas de las Bombas de Agua de la piscina.	120
Tabla 5.11.	Especificaciones técnicas de SITRANS F M TRANSMAG 2.	124
Tabla 5.12.	Características eléctricas de las Bombas de Agua y Pasta del Proceso de Recuperación de Efluentes.	125
Tabla 5.13.	Monitoreo interno de emisiones gaseosas.	129
Tabla 5.14.	Características técnicas del sensor de nivel ultrasónico POINTEK CLS 100.	133
Tabla 5.15.	Características eléctricas de las bombas de agua y combustible de las calderas.	136
Tabla 5.16.	Señales de los procesos de la Planta de Fuerza.	138
Tabla 5.17.	Características básicas de CPU disponibles en la gama S7- 1200.	141
Tabla 5.18.	Módulos de Señales y Signal Boards para el PLC s7-1200.	142
Tabla 5.19.	Precios de los equipos utilizados en la propuesta del Sistema SCADA.	151



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO1: TOPOLOGÍA DE LAS REDES DE COMUNICACIONES DEL SISTEMA PARA LA PLANTA DE FUERZA.

ANEXO2: SOLUCIÓN DE SOFTWARE DEL SISTEMA SCADA PARA LA PLANTA DE FUERZA DE CARTOPEL.



CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes:

En la república del Ecuador, provincia del Azuay, Ciudad de Cuenca, El Grupo Cartopel S.A. empezó sus actividades en el año 1990, desarrollándose como una organización industrial en el sector papelerero y de empaques de cartón corrugado, en donde la calidad de sus productos y servicios lo han llevado a estar presente en todos los sectores de la producción que por sus características demandan soluciones de empaque en cartón corrugado.

Produce y comercializa empaques en base a papeles kraft liner y corrugados medio, con una capacidad nominal en la fabricación de papel de 72.000 Ton/año. Estos papeles son la materia prima para la fabricación de cajas de cartón utilizadas para la exportación de banano, flores, productos agrícolas, entre otros.

En la actualidad, el grupo Cartopel S.A. con la finalidad de extender la calidad de sus productos y servicios a nivel Nacional e Internacional cuenta con tres plantas Corrugadoras y un molino Papelero.

Para el mercado nacional, dispone de un Molino Papelero "CARTOPEL", en la Ciudad de Cuenca (Figura 1.1), y dos plantas Corrugadoras, la primera "ONDUTEC" en la ciudad de Cuenca, y la segunda "CORRUPAC" en la ciudad de Guayaquil. A nivel Internacional cuenta con una planta Corrugadora "CARVIMSA" en Lima, Perú.

En la Ciudad de Cuenca, el Grupo Cartopel S.A. desarrolla sus operaciones en el sector del Parque Industrial, ubicado en las Calles Cornelio Vintimilla y Carlos Tosi, sus instalaciones comprenden una extensión de 8 hectáreas de terreno aproximadamente, utilizando una fuerza laboral de alrededor de 500 empleados.



Figura 1.1. Ubicación geográfica Cartopel S.A.

El Molino Papelero Cartopel cuenta con una variedad de procesos para fabricar papel. El más importante es hacer papel, mientras que algunos estratégicos están en la planta de fuerza, debido a que la energía y el vapor representan el 60% del costo de conversión de materia prima a producto terminado; de esta manera, la planta de fuerza produce 18 Ton/hora de vapor, utilizado para secar el papel y suple una demanda de 5 Mw (Mega Watios) de Potencia Eléctrica.

Los procesos estratégicos involucrados en la planta de fuerza son:

- Distribución de la Energía Eléctrica.
- Generación de Vapor.



- Producción de Agua Tratada.
- Producción de Aire Comprimido.
- Recuperación de Agua y Pasta.

La Distribución de la Energía Eléctrica tiene la finalidad de repartir a cada uno de los puntos de carga o consumo la energía eléctrica de manera confiable y eficiente garantizando su continuo suministro.

La Generación de Vapor, Producción de Agua Tratada y Aire Comprimido se encargan de producir y distribuir vapor, agua tratada y aire comprimido a la planta para la fabricación de papel.

La Recuperación de Agua y Pasta entregan la materia prima básica para la elaboración del papel, es decir, se separa el agua y la pasta del agua utilizada en los procesos; los cuales se van almacenando en una cisterna de efluentes, por decantación se los separa para nuevamente ser almacenados, distribuidos y reutilizados en la fabricación del papel.

Debido a la importancia de la planta de fuerza en la elaboración del papel, esta debe ser continuamente monitoreada, registrada y controlada para evitar fallos, mal funcionamiento y daños severos en los equipos, y llevar un registro de su comportamiento de tal manera de preservar su funcionamiento y vida útil, y además garantizar una alta calidad del producto entregado.

Para monitorear, registrar y controlar la planta en tiempo real se utilizará un sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), el cual es un sistema de adquisición y almacenamiento de datos e información en tiempo real, asociada a variables que inciden en procesos productivos, además de controlarlos y supervisarlos a distancia.

Estos sistemas están diseñados para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de



campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde un ordenador. Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, permitiendo la participación de otras áreas, como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Cada uno de los ítems del sistema SCADA involucran muchos subsistemas, por ejemplo, las variables de instrumentación son tomadas mediante sensores y transductores, que adecuan las señales a niveles compatibles con una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) que las digitaliza de manera que puedan ser procesadas en una computadora. Otra forma muy común de comunicación consiste en que el ordenador realice la adquisición de datos vía un *hardware* especializado y luego esa información la transmita hacia un equipo de radio a través de su puerto serial, utilizando la red interna de comunicaciones de la fábrica, y así existen muchas otras alternativas.

Las tareas de Supervisión y Control generalmente están más relacionadas con el *software* SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema de control de la planta de fuerza, sus estados de operación, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano o remoto.

El protocolo de comunicación para llevar a cabo la ejecución de dichas órdenes se realiza mediante buses especiales o redes LAN internas de la fábrica. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

El sistema SCADA será capaz de ofrecer la monitorización y el control de la planta de fuerza en tiempo real, además de la posibilidad de crear paneles de supervisión y mando que facilitarán las tareas de reconocimiento de una



eventual parada o situación inusual con registro de incidencias, la generación de datos históricos de las señales de planta, la ejecución de programas que pueden modificar la ley de control y las tareas asociadas al autómata o incluso anularlas bajo ciertas condiciones operativas especiales.

1.2. Alcance:

Proponer el diseño de un Sistema SCADA para monitorear, registrar y controlar individualmente los procesos de Distribución de la Energía Eléctrica, Generación de Vapor, Producción de Agua Tratada, Producción de Aire Comprimido, Recuperación de Agua y Pasta, de la Planta de Fuerza del Molino Papelero Cartopel.

1.3. Justificación:

Debido a que en la Planta de Fuerza del Molino Papelero Cartopel no se dispone de un sistema de adquisición de datos (SCADA) completo que permita monitorear y registrar todos los procesos, se ha visto la necesidad de proponer el diseño de este sistema con la finalidad de monitorearlos, registrarlos y controlarlos individualmente en tiempo real, y de esta manera garantizar su correcto funcionamiento.

Siendo el Grupo Cartopel S.A. una empresa eficiente en su negocio actual (fabricación y comercialización de papel), con una gran visión social y pensando siempre en las necesidades de sus clientes como en el bienestar de sus inversionistas, ha optado por esta propuesta de diseño del sistema de adquisición de datos de las variables de los procesos de la planta de fuerza, para que en corto y mediano plazo sean utilizados en el mejoramiento de la calidad de su producto.



1.4. Objetivos:

1.4.1. Objetivo General:

Proponer el diseño de un sistema SCADA para monitorear, registrar y controlar individualmente y en tiempo real las principales variables involucradas en los procesos de Distribución de Energía Eléctrica, Generación de Vapor, Producción de Agua Tratada, Producción de Aire Comprimido, Recuperación de Agua y Pasta de la Planta de Fuerza del Molino Papelero Cartopel.

1.4.2. Objetivos Específicos:

1.- Identificar los procesos para definir los puntos de medición y control mediante el levantamiento técnico de la Distribución de Energía Eléctrica, Generación de Vapor, Producción de Agua Tratada, Producción de Aire Comprimido, Recuperación de Agua y Pasta de la Planta de Fuerza del Molino Papelero Cartopel.

2.- Investigar y elegir los equipos y dispositivos necesarios para el diseño del sistema SCADA para la adquisición de datos de las variables de los procesos de Distribución de Energía Eléctrica, Generación de Vapor, Producción de Agua Tratada, Producción de Aire Comprimido y Recuperación de Agua y Pasta de la Planta de Fuerza del Molino Papelero Cartopel.

3.- Realizar el diagrama unifilar del sistema SCADA; para los procesos de distribución de Energía Eléctrica, Generación de Vapor, Producción de Agua Tratada, Producción de Aire Comprimido, Recuperación de Agua y Pasta de la Planta de Fuerza del Molino Papelero Cartopel.

1.5. Plan de Ejecución del Proyecto:

Para lograr la consecución de los objetivos planteados en el proyecto, se ha elaborado un plan de trabajo conjuntamente con el personal encargado de la operación y mantenimiento de la Planta de Fuerza, en donde, tal como lo expone la figura 1.2, se ha propuesto seguir estrictamente las siguientes etapas:

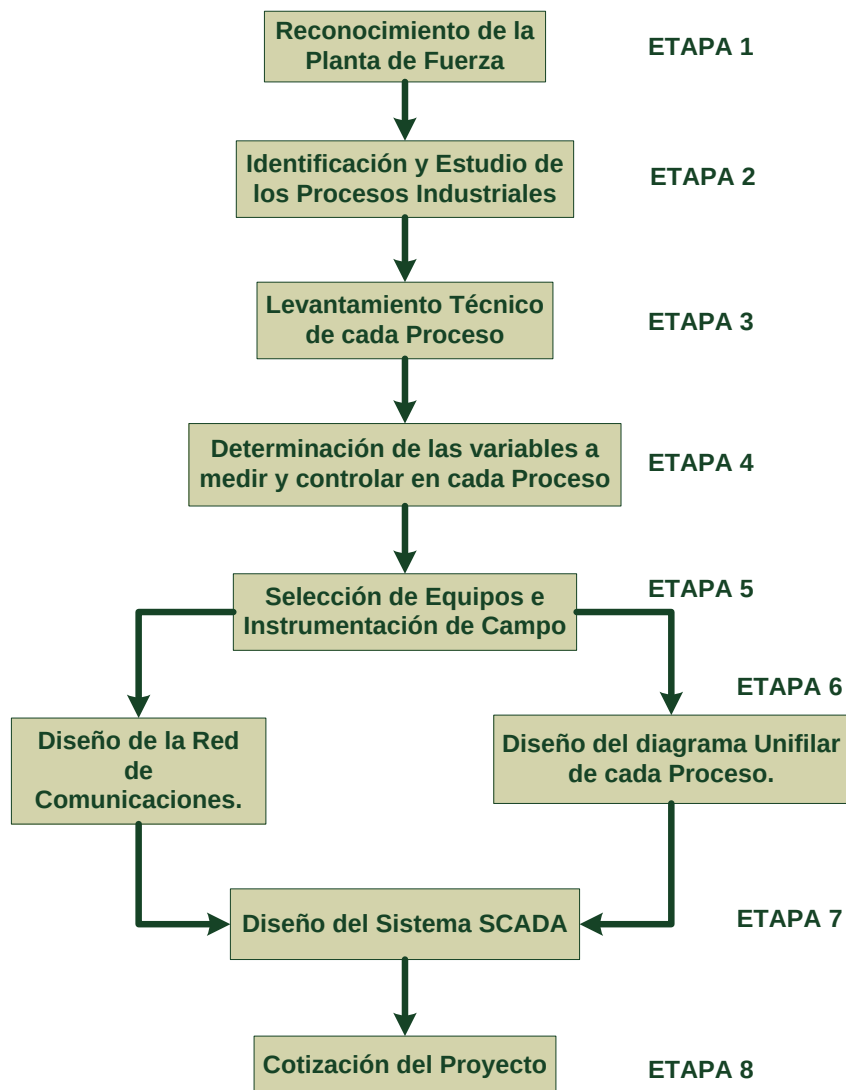


Figura 1.2. Etapas del Plan de Ejecución del Proyecto.

En la etapa 1 del proyecto, se programará la visita a las instalaciones de la empresa Cartopel S.A. para realizar el reconocimiento de la ubicación geográfica de la Planta de Fuerza del Molino Papelero Cartopel.



En la etapa 2, se identificarán y recorrerán conjuntamente con el personal encargado los procesos Industriales involucrados en dicha Planta, para conocerlos, estudiarlos y establecer claramente las características y funciones que debe cumplir cada proceso en la fabricación del papel y bajo qué condiciones técnicas y operativas.

En la etapa 3, una vez que se ha estudiado ha profundidad cada uno de los procesos de la Planta de Fuerza, se llevará a cabo el levantamiento técnico para determinar en primera instancia, si se dispone de algún sistema de monitoreo o control de las variables de los procesos, el mismo que de existir nos ayudará para tomarlo como punto de inicio y referencia en el diseño del sistema SCADA que se pretende implantar, posteriormente, se identificarán y clasificarán los equipos involucrados en cada proceso .

En la etapa 4, una vez conocidas las características operativas y elementos de cada proceso, se llevará a cabo en conjunto con los operadores de la Planta la selección de las variables físicas principales que se desean monitorear y controlar en tiempo real.

En la etapa 5, en base a las variables escogidas y al levantamiento técnico, se realizará la investigación técnica y selección de los equipos e instrumentación de campo adecuados, que nos permitirán diseñar de mejor manera el Sistema SCADA en base de las necesidades y requerimientos específicos de la Planta.

En la etapa 6 y 7, se elaboran el diseño tanto de la red de Comunicaciones (topología de la red), como el diagrama unifilar (pantallas) del Sistema SCADA propuesto en base a toda la información recopilada en las etapas anteriores.

En la etapa 8, se presentará una cotización del costo aproximado que representaría la implementación de este proyecto.



CAPITULO 2

DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES DE LA PLANTA DE FUERZA DEL MOLINO PAPELERO CARTOPEL

2.1. Introducción:

El molino Papelero Cartopel está dotado de varios procesos para hacer papel.

Debido a que el vapor y la energía eléctrica representan el 60% del costo de conversión de materia prima a producto terminado, este se abastece de una fuente centralizada denominada PLANTA DE FUERZA, en donde se concentran los siguientes procesos:

- Distribución de la Energía Eléctrica.
- Generación de Vapor.
- Producción de Agua Tratada.
- Producción de Aire Comprimido.
- Recuperación de Agua y Pasta.

La PLANTA DE FUERZA produce 18 Ton/hora de Vapor y satisface una demanda de 5 Mega Vatios de Potencia Eléctrica siendo esta una sección estratégica, ya que garantiza el suministro continuo, es decir, 24 horas al día los 365 días del año del vapor necesario para secar el papel, y de la Energía Eléctrica para cubrir las demandas de la planta papelera.

2.2. Descripción del Proceso de Distribución de Energía Eléctrica:

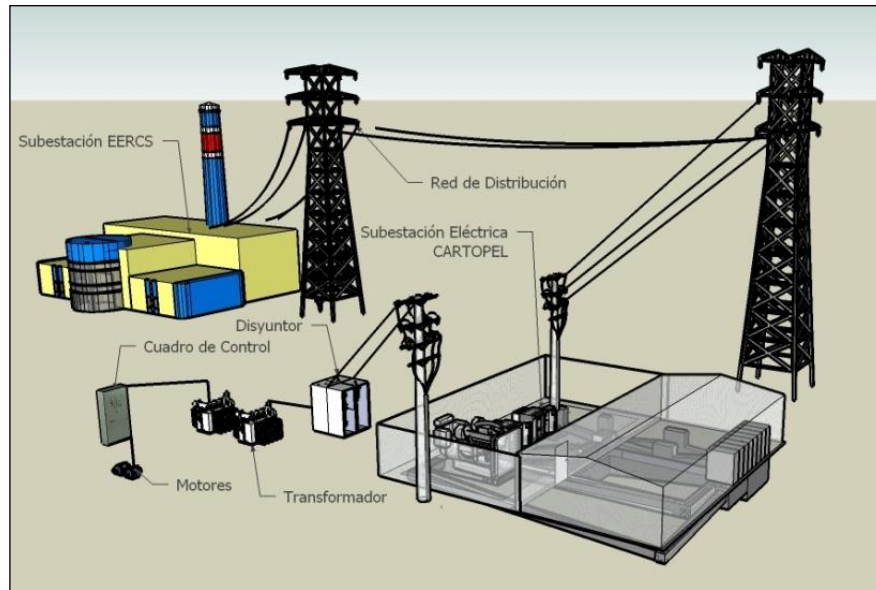


Figura 2.1. Esquema de la Distribución de Energía Eléctrica.

El proceso de distribución de energía eléctrica (Figura 2.1) se inicia en la subestación #4 de propiedad de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur ubicada en la cabecera del Parque Industrial, la misma que llega a través del sistema de subtransmisión con un nivel de tensión de 22000 voltios (22 KV).

Por razones de seguridad para la empresa CARTOPEL, la acometida se realiza con los alimentadores 04-21 y 04-25 los mismos que se encuentran conectados en paralelo.

La energía es transformada en diferentes niveles de tensión dependiendo de donde vaya a ser utilizada, esto se realiza a través de los transformadores de potencia ubicados en áreas específicas de la Planta de Fuerza del Molino Papelero.

Se cuenta hasta la fecha con 10 transformadores los cuales se describen a continuación:

Los transformadores TR-1 y TR-2 convierten un nivel de tensión de 22000 voltios a 460 voltios, los mismos que tienen una capacidad de 2000 KVA



cada uno. Los mencionados transformadores tienen conectados sus secundarios a una barra 1 que sirve para alimentar los siguientes procesos y elementos:

- El banco de condensadores con una capacidad de 180 KVAR utilizado para mejorar el nivel de tensión y corregir el factor de potencia del transformador TR-1.
- La preparación de pasta en línea de rollos top, en donde se realiza la adecuación de la materia prima para inyectarla a la sección de elaboración del papel.
- Máquina de producción en línea de rollos, fabrica papel en rollos.
- Un servicio auxiliar automático, enfocado principalmente para alimentar eléctricamente a las bombas, compresores, motores y ventiladores.
- Alimentación de los primarios de los transformadores TR-3, TR-4 y TR-5.
- El área de conversión recoge sobrantes de la máquina principal de rollos y los aprovecha para convertirlos en otro producto final como esquineros, separadores para cajas.
- Las calderas.
- La preparación de pasta en línea de rollos gris, en donde se realiza también la preparación de la materia prima que servirá para inyectarla a la sección de elaboración de un papel de diferente calidad.
- La línea back, en donde se separa la materia prima que puede afectar la fabricación del papel.
- El banco de condensadores con una capacidad de 220 KVAR utilizado para mejorar el nivel de tensión y corregir el factor de potencia del transformador TR-2.

Los transformadores TR-3 y TR-4 que tienen una capacidad de 200 KVA cada uno, convierten el nivel de tensión de la barra 1 a 440 voltios y 220 voltios respectivamente, los mismos que se utilizan para el cuadro general de iluminación.



El transformador TR-5 tiene una capacidad de 1250 KVA y convierte el nivel de tensión de 440 voltios a 6300 voltios; de este transformador se toma dos derivaciones, uno para el transformador TR-6 con una capacidad de 150 KVA que convierte el nivel de tensión de 6300 voltios a 440 voltios, el mismo que es utilizado para alimentar unidades auxiliares de la planta, la segunda derivación es para el transformador TR-9 que tiene una capacidad de 350 KVA y transforma el voltaje de 6300V a 440V y 220V, para el funcionamiento de las bombas de extracción de agua del reservorio.

El transformador TR-10 con una capacidad de 1000KVA transforma el nivel de tensión de 22000V a 460V y 380V, su secundario se encuentra alimentando a la línea Ondutec que fabrica las cajas.

El transformador TR-11 con una capacidad de 2200KVA transforma el nivel de tensión de 22000V a 460V, el secundario de este transformador se encuentra conectado a una barra 2 que sirve para alimentar los siguientes elementos:

- El banco de condensadores con una capacidad de 200 KVAR utilizado para mejorar la tensión y corregir el factor de potencia del transformador TR-11.
- Las calderas.
- Las bombas de vacío, destinadas a extraer el agua que se encuentra en la mesa Fourdrinier en la sección de formación del papel.
- La mesa de formación superior es una mesa adicional a la mesa Fourdrinier conformada por un grupo de motores que sirve para formar otra capa de papel según los requerimientos.
- Máquina de producción en línea de rollos que consta de un grupo de motores para el movimiento de los secadores del papel.

El transformador TR-12 con una capacidad de 1500KVA transforma el nivel de tensión de 22000V a 4160V, el secundario de este transformador alimenta los siguientes procesos:

- Screen, que es un limpiador.
- Pulper, en donde se desfibra el papel y se lo mezcla con agua para formar la pasta.
- Pilao, que es un refinador para acondicionar las fibras de la pasta previa al proceso de formación del papel.

Las maniobras para la entrada y salida del servicio de los cuadros eléctricos y de los transformadores las llevan a cabo los operadores de la Planta de Fuerza, así como la coordinación con el personal de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur.

A continuación se presenta la figura 2.2 en donde se puede observar sintéticamente el proceso de distribución de energía eléctrica.

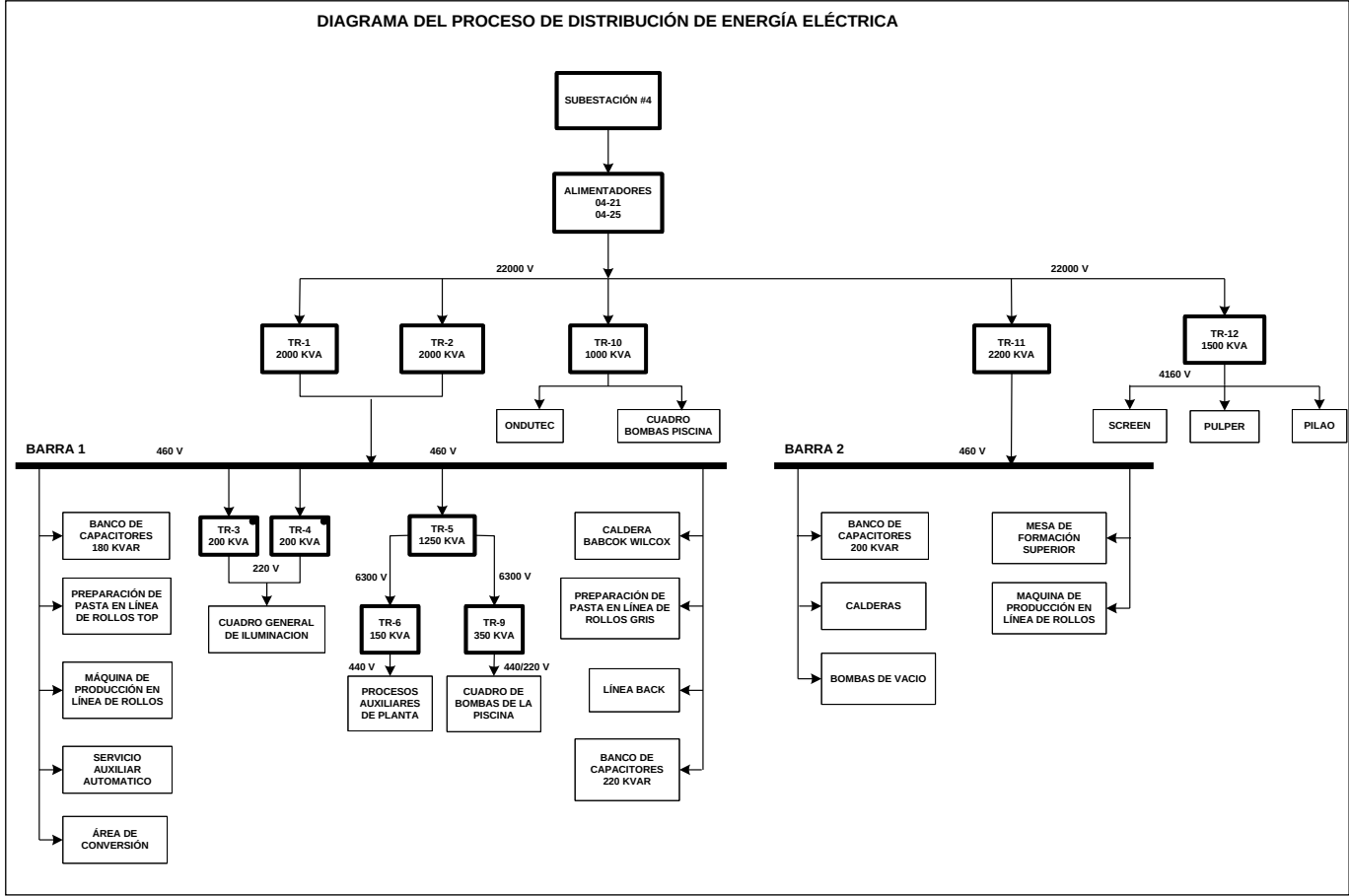


Figura 2.2. Diagrama de la Distribución de Energía Eléctrica.

2.3. Descripción del Proceso de Producción de Agua Tratada:

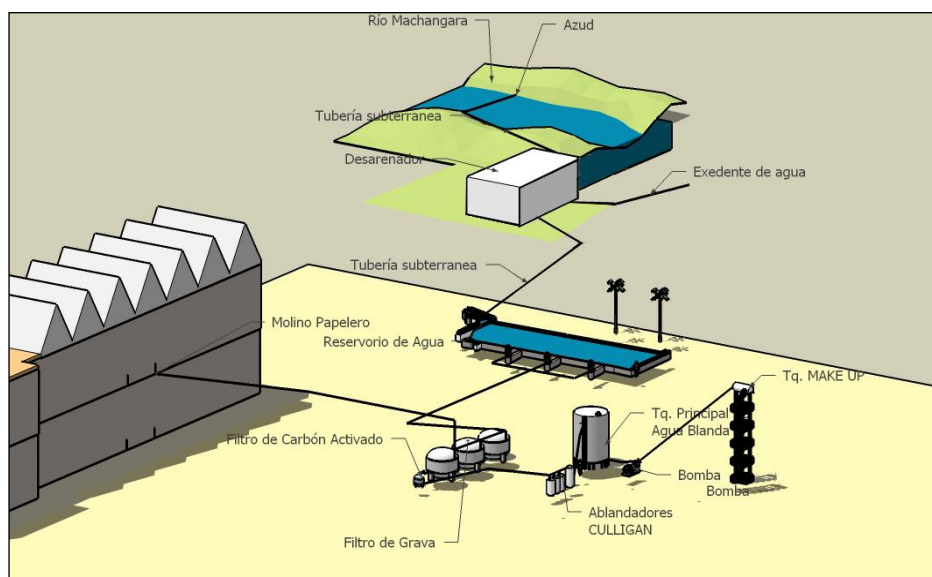


Figura 2.3. Esquema de la Producción de Agua Tratada.

El proceso de producción de agua tratada (Figura 2.3) se inicia con la captación del agua del río Machángara por medio de un azud construido por la empresa CARTOPEL. El azud está conformado por una rejilla que sirve para impedir el ingreso de materiales sólidos que afecten la producción de agua, también se dispone de tres compuertas manuales (CB1, CB2 y CB3), en donde CB1 y CB2 sirven para regular la cantidad de agua que ingresa a CB3, la misma que cumple la función de compuerta principal y es la entrada a la tubería de 0,80 metros de diámetro que conecta la bocatoma con el desarenadero.

El agua viaja 217,4 metros por acción de la gravedad a través de la tubería hasta llegar al desarenadero en donde se retiene la arena, además en este punto se realiza la medición de la turbidez por inspección; por parte del operador de la bocatoma el mismo que se basa en los niveles de turbidez (TABLA 2.1), para determinar si el reservorio necesita la adición de químicos coagulantes en base a policloruro de aluminio de alta basicidad y floculantes orgánicos (*Induflock*) y de sulfato de aluminio en la siguiente dosificación para la clarificación:

Tabla 2.1: NIVELES DE TURBIDEZ DEL AGUA EN EL DESARENADERO Y DOSIFICACIÓN DE AFLUENTES

RANGO DE TURBIDEZ (NTU)	PH INICIO	SUL AL (L/h)	(L/seg)	INDUFLOCK	(L/seg)	PH FINAL
20 – 50	6.6	82	227	5	14	6,16
50 – 100	6.6	92	227	5	20	6,08
100 – 150	6.6	102	283	8	23	6,05
150 – 300	6.6	120	255	10	28	6,03
300 – 600	6.6	130	350	15	42	5,83
600 – 1000	6.6	140	388	20	56	5,99

El desarenadero consta de dos compuertas (CD1 y CD2), la CD1 controla el caudal de ingreso del agua, mientras que CD2 controla el nivel de agua necesario para abastecer al reservorio, aquí se ha establecido en un valor de 7 centímetros de altura para trabajar en condiciones óptimas.

A continuación el agua viaja por una tubería de 0,80 metros de diámetro desde la salida del desarenadero una distancia de 210 metros hasta llegar al reservorio de agua que tiene una capacidad de 1020 m^3 . El reservorio necesita un caudal de ingreso de 250 a 300 m^3/h para que el Molino Papelero Cartopel pueda operar normalmente. En esta instancia el agua ingresa a un sedimentador y se procede a realizar la clarificación mediante la coagulación, floculación y decantación. La clarificación se puede resumir como una etapa en la cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flóculos tal que su peso específico supere a la del agua y se puedan precipitar al fondo. Desde el reservorio se procede a llevar el agua mediante bombas eléctricas que tienen una capacidad de extracción de 310 m^3/h hacia los filtros de grava, en donde se eliminan las impurezas que están presentes en el agua. Desde este punto el agua se deriva en dos instancias diferentes, la primera derivación se la utiliza directamente para el proceso papelerero, mientras que en la segunda derivación el agua se la utilizará para la generación del vapor.

Antes de ingresar, el agua debe pasar por un filtro de carbón activado para su purificación, luego de ser filtrada esta agua dura que contiene minerales tales como el calcio y magnesio debe ser ablandada con el objetivo de minimizar el riesgo de depósitos en las calderas ya que puede producirse el bloqueo y oxidación de las tuberías, así como la reducción de la eficiencia. Por estas razones es de gran importancia el ablandamiento del agua ya que disminuye los costos de calentar el agua en un 15 a 20%. El agua blanda se almacena en un tanque pulmón que tiene una capacidad de 5.3 m^3 .

Para comprender el Proceso de Producción de Agua Tratada ver la figura 2.4:

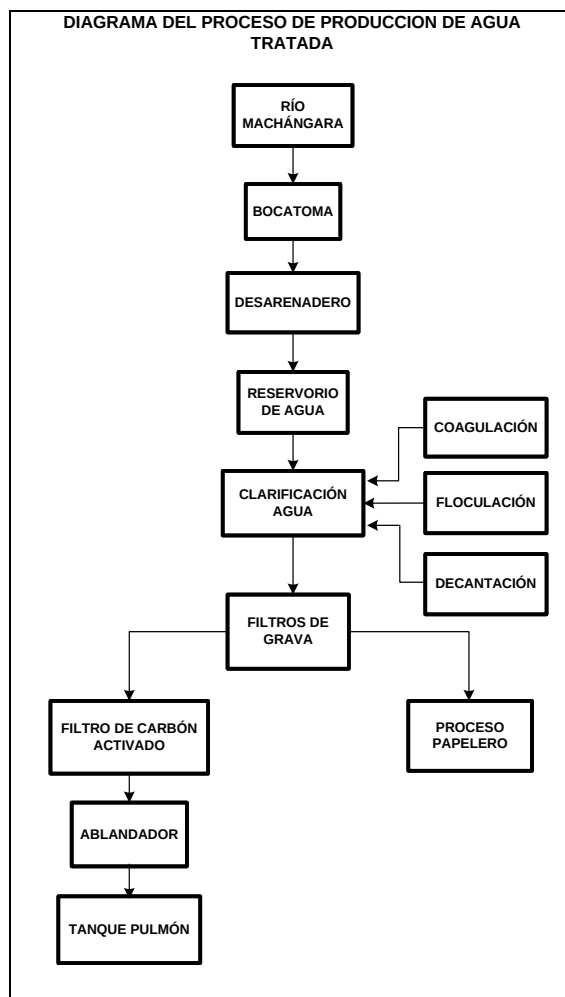


Figura 2.4. Diagrama de la Producción de Agua Tratada.

2.4. Descripción del Proceso de Producción de Vapor:

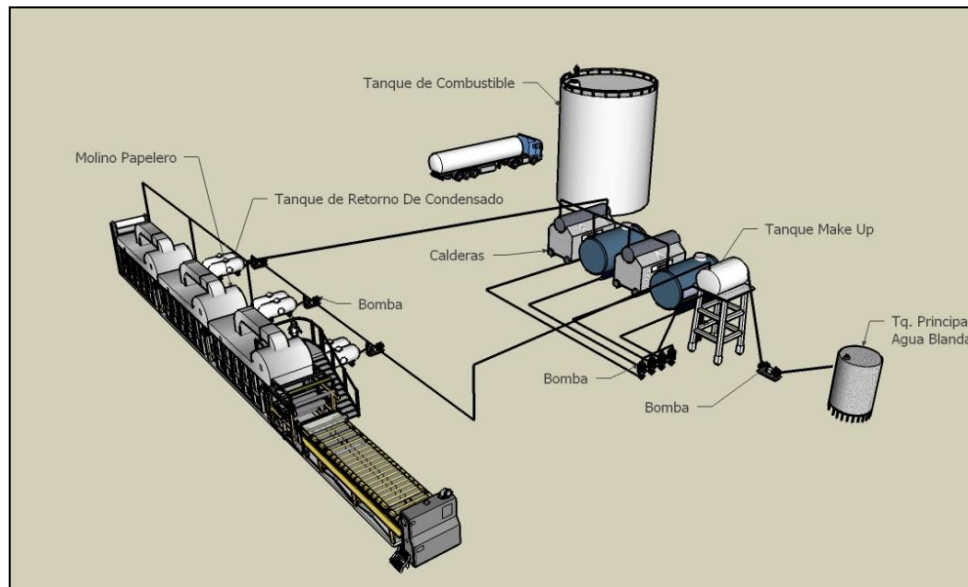


Figura 2.5. Esquema de la Producción de Vapor.

La producción de vapor (Figura 2.5) se inicia en el tanque pulmón de agua blanda, en donde el contenido de este tanque es llevado mediante bombas eléctricas hacia el tanque make-up.

El tanque make-up tiene un capacidad de almacenamiento de 18.8 m^3 , el cuál contiene agua blanda y retorno de condensado que provienen de la máquina principal de rollos y de la Corrugadora de papel. A continuación esta agua es enviada mediante bombas eléctricas a cada una de las calderas.

El combustible que se utiliza en las calderas es el fuel oil #4, el mismo que se almacena primero en un tanque principal que tiene una capacidad de 68000 galones, luego este combustible se envía a un tanque de transferencia que tiene una capacidad de 1000 galones y de este tanque se lo envía a las calderas a través de bombas eléctricas. Cabe mencionar que la planta de fuerza consume una cantidad de 9000 a 10000 galones de fuel oil por día.



La planta de fuerza está conformada por 4 calderas denominadas Fontana y Pelucchi, que son de origen italiano, mientras que las calderas Babcock Wilcox y Cleaver Brooks son de origen americano.

Las calderas Pelucchi y Cleaver Brooks son de tipo pirotubular, es decir los gases calientes provienen de la combustión del fuel oil, los mismos que circulan por el interior de tubos cuyo exterior esta bañado por el agua de la caldera.

Las calderas Fontana y Babcock Wilcox son de tipo acuatubulares, en donde al contrario de lo que ocurre en las pirotubulares, es el agua el que circula por el interior de tubos que conforman un circuito cerrado a través de la superficie de intercambio de calor de la caldera.

Las salidas de las calderas Fontana, Cleaver Brooks y Babcock Wilcox se encuentran conectadas a un tubo principal (Main) que tiene una presión de $13,5 \text{ kg/cm}^2$ y un caudal de vapor de 19000 kg/h , el mismo que está dirigido al proceso de secado del papel, en donde se encuentran un grupo de secadores que utilizan vapor.

La salida de la caldera Pelucchi está conectada a un tubo que tiene una presión de $4,5 \text{ kg/cm}^2$, la misma que está dirigida a la línea de conversión, en donde se utiliza el producto sobrante de la máquina principal para convertirlos en otro tipo de acabado de papel.

Para una mejor comprensión de este proceso ver la figura 2.6:

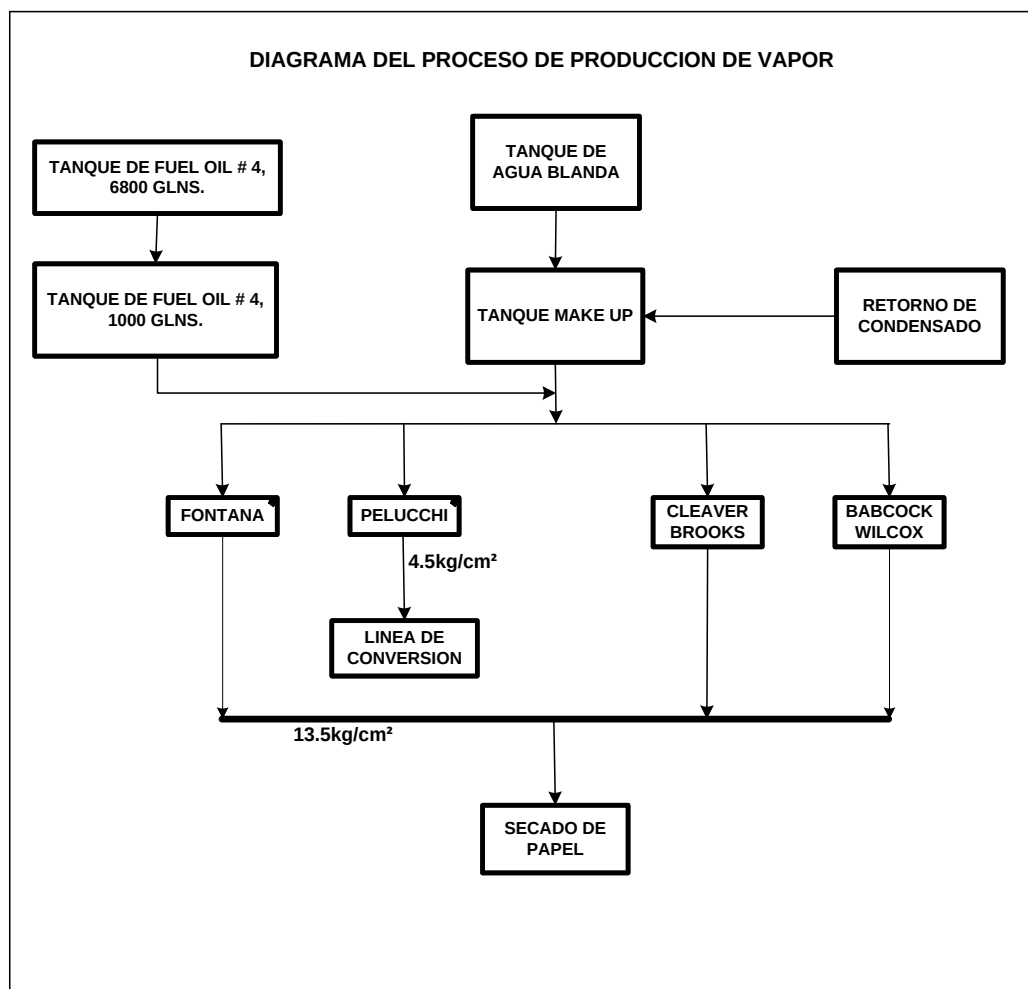


Figura 2.6. Diagrama de la Producción de Vapor.

2.5. Descripción del Proceso de Producción de Aire Comprimido:

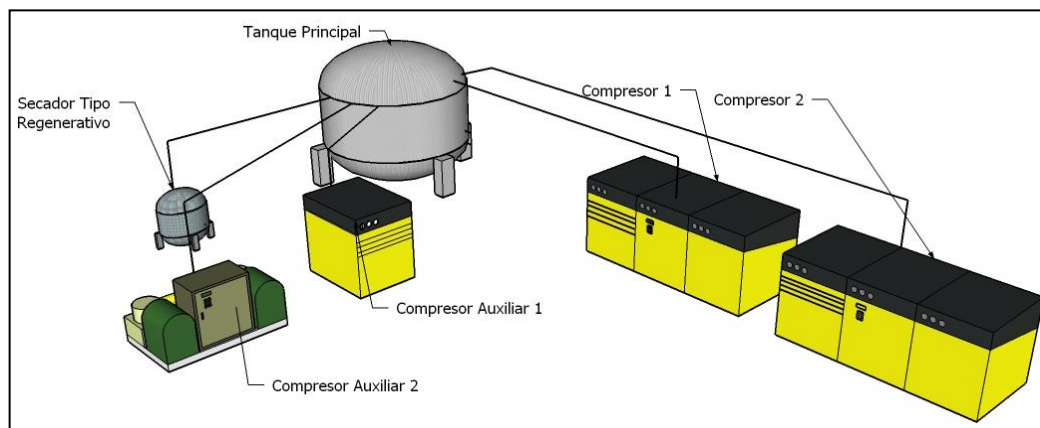


Figura 2.7. Esquema de la Producción de Aire Comprimido.

En la figura 2.7 se observa el proceso de producción de aire comprimido, el cual se inicia con la absorción del aire atmosférico por medio de dos compresores principales, cada uno con una capacidad de 670 *scfm* y una presión estándar de 7 *kg/cm²*.

A continuación, este aire es almacenado en un tanque principal cuya capacidad es de aproximadamente 9 *m³*. Además se cuenta con dos compresores auxiliares, de 300 *scfm* y 100 *scfm* respectivamente, los cuales entran en funcionamiento en el momento en el cual los principales sufren una parada, ya sea por mantenimiento o por averías.

Una vez almacenado el aire en el tanque principal, este debe ser purificado a través de un secador para aire tipo regenerativo, el cual absorbe el vapor de agua contenido. A la salida del secador tenemos listo el aire que será utilizado en Molino Papelero y la Corrugadora en donde se requiera el aire comprimido.

Con la finalidad de comprender mejor el proceso de producción de aire comprimido ver la figura 2.8.

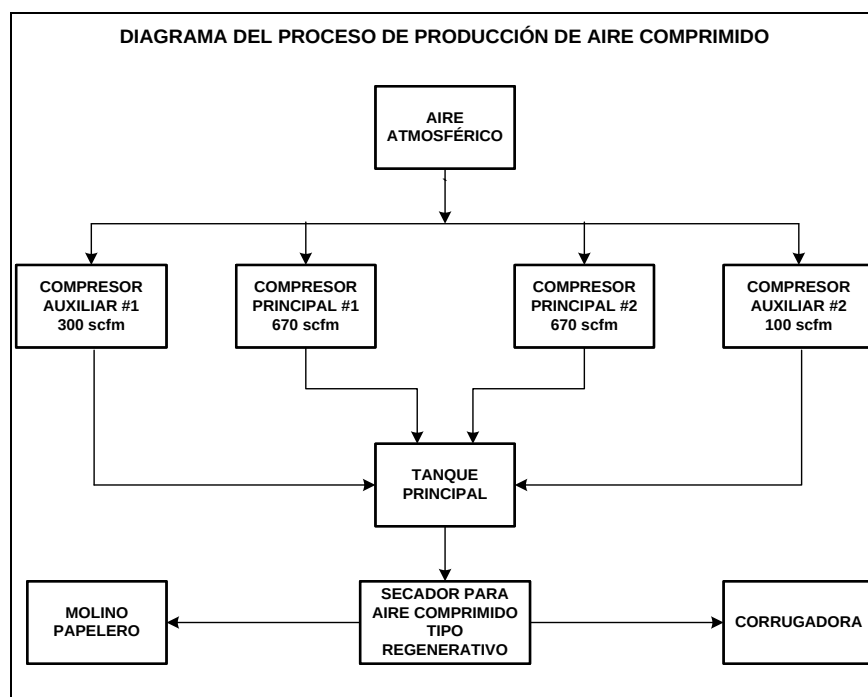


Figura 2.8. Diagrama de la Producción de Aire Comprimido.

2.6 Descripción del Proceso de Recuperación de Agua y Pasta:

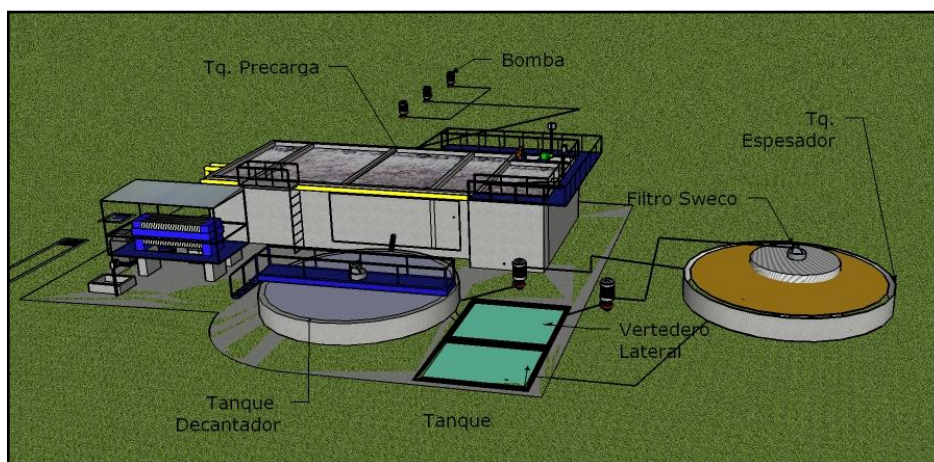


Figura 2.9. Esquema de la Recuperación de Agua y Pasta.

La recuperación de efluentes líquidos (Figura 2.9), se inicia en una cisterna a la cual llegan todos los residuos de agua y la pasta.

De esta cisterna se extrae los efluentes mediante tres bombas eléctricas verticales que funcionan alternadamente de acuerdo a los requerimientos y a la cantidad que se encuentre en la cisterna, estos efluentes se llevan por tubería, la cual tiene una capacidad de desfogue de $240m^3/h$, hasta llegar a un tanque de precarga.

Desde el tanque de precarga por acción de la gravedad y a través de unas rejillas, la pasta pasa al tanque decantador en donde por efectos de la gravedad, el peso específico y tiempo de residencia la pasta se va al fondo y el agua queda en la superficie.

El agua que rebosa del tanque decantador es dirigida a los vertederos laterales en donde a través de bombas se lleva el agua hasta un filtro denominado “Sweco” en donde se quedan las partículas gruesas de pasta que se encuentran presentes en el agua y son enviadas al tanque espesador.

Una vez que el agua está libre de partículas de pasta se la lleva a un tanque en donde por acción de bombas eléctricas se la recupera.

La pasta depositada en el fondo del tanque decantador es llevada mediante bombas hasta un tanque espesador y de aquí la pasta es trasladada a través de tubería nuevamente hasta el Pulper.

Con este proceso se optimiza la elaboración del papel ya que existe un desperdicio mínimo de agua y pasta.

Para tener una visualización más rápida del proceso de recuperación de agua y pasta ver la figura 2.10:

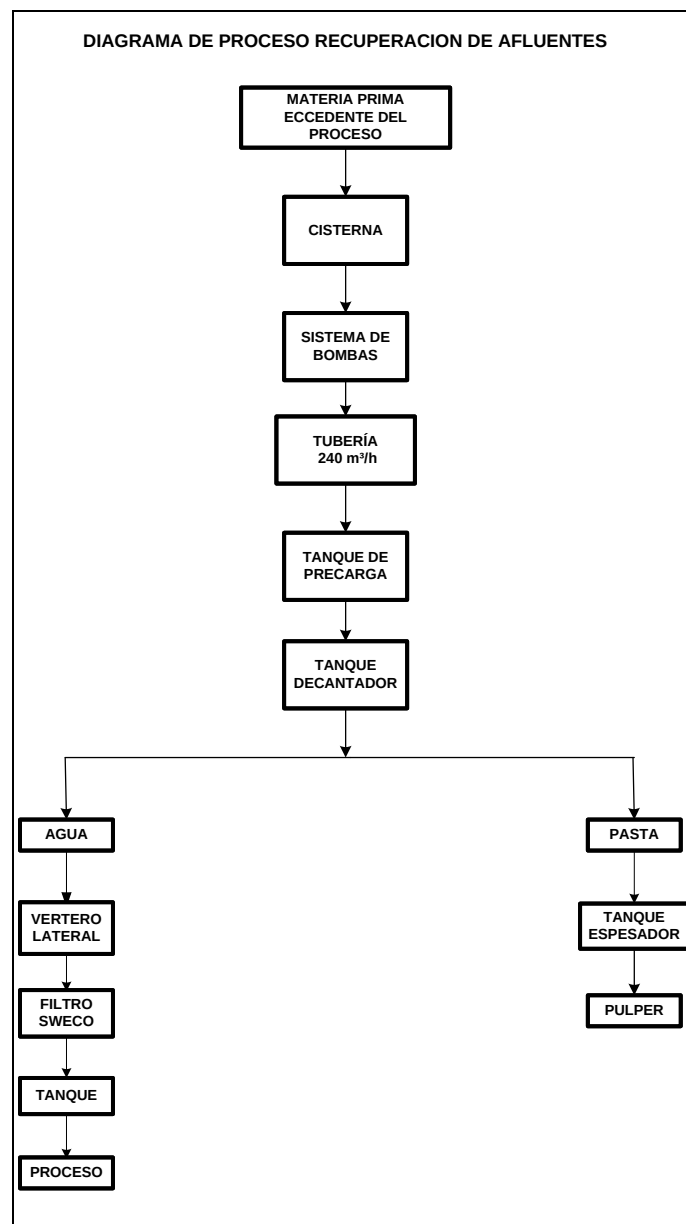


Figura 2.10. Diagrama de la Recuperación de Agua y Pasta.



CAPITULO 3

DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES A MEDIR Y CONTROLAR EN LOS PROCESOS DE LA PLANTA DE FUERZA DEL MOLINO PAPELERO CARTOPEL

3.1. Introducción:

Con el propósito de obtener la mayor cantidad de información de la planta de fuerza, es necesario realizar un levantamiento de las características físicas y técnicas del lugar, y en base a ello, determinar la forma y detalles de infraestructura del sitio existente, así como la identificación de los equipos e instrumentación disponibles. Este procedimiento nos facilitará y ahorrará tiempo en la selección de equipamiento e instrumentación de medida y control para el diseño del sistema Scada.

Es indispensable hacer énfasis en que todas las variables a medir y controlar se escogieron conjuntamente con el personal encargado de la planta de fuerza de acuerdo a los requerimientos y necesidades específicas de la planta.

3.2. Códigos de identificación de equipos en la Planta de Fuerza:

En la planta de fuerza del molino papeler Cartopel existen una serie de códigos de identificación de las diferentes secciones y equipos pertenecientes a esta área. Cabe mencionar que para la designación de estos códigos de identificación no se ha seguido una norma o nomenclatura estándar, sino que se han establecido de una manera arbitraria conforme se han ido adquiriendo y reemplazando equipos, ampliando y readecuando secciones en la planta de fuerza. Estos códigos tienen por finalidad la plena identificación de todos los equipos e instrumentos de medición y control existentes, para de esta manera acceder de una manera ágil a su



información, ya sean estos catálogos o características técnicas de los equipos además de su ubicación geográfica exacta dentro de la planta.

Esta información la podemos encontrar en las carpetas de archivo ubicadas en el departamento de superintendencia de mantenimiento. A continuación se presenta un ejemplo de su lectura:

TABLA 3.1. EJEMPLO DE LECTURA DE LOS CÓDIGOS DE LOS EQUIPOS.

CÓDIGO	ELEMENTO	LECTURA
50-01	Transformador TR-1	Es la identificación del transformador TR-1. Toda la información de este equipo se encuentra en la carpeta 50-01.
74-01 74-02 74-03	Bombas agua de los procesos	Significa que existen 3 bombas eléctricas en esta sección cuya información la podemos encontrar en las carpetas 74-01,74-02,74-03.
70-03	CALDERA PELUCCHI	Es la identificación de la caldera Pelucchi, en la carpeta 70-03 se encuentra toda la información acerca de esta caldera.

Como primer paso para el desarrollo del presente proyecto se ha realizado el levantamiento físico y técnico de los equipos e instrumentos que intervienen en cada uno de los procesos de la planta de fuerza, incluyendo sus respectivos códigos de identificación con los que se manejan, con la finalidad de tenerlos plenamente identificados y acceder rápidamente a su información cuando se la requiera.

3.3. Determinación de las variables a medir y controlar en el Proceso de Distribución de Energía Eléctrica:

Luego de inspeccionar las instalaciones correspondientes a la sección asignada para la Distribución de Energía Eléctrica, se determina que en el Sistema de adquisición de datos actual de este proceso se tiene la medición en tiempo real del voltaje de entrada a la planta, así como la medición de la

Corriente, Potencia, Factor de Potencia, Energía y Factor de Carga de los transformadores TR-1, TR-2, TR-10, TR-11, TR-12.

Para realizar estas mediciones, se ha dispuesto de los transformadores de medida de intensidad (TC). Estas señales obtenidas mediante los TC están dirigidas a los instrumentos medidores de potencia PM500, que nos permiten monitorear las magnitudes anteriormente mencionadas de este tipo de instalaciones de alto voltaje. Los PM500 a su vez se conectan a una red Modbus utilizando un protocolo de comunicación RS-485 existente exclusivamente para estas aplicaciones. Posteriormente se adaptan las señales a través de un conversor RS-485/RS-232 para que puedan ser procesadas por el ordenador en donde se pueden visualizar en tiempo real los valores de las magnitudes eléctricas antes especificadas.

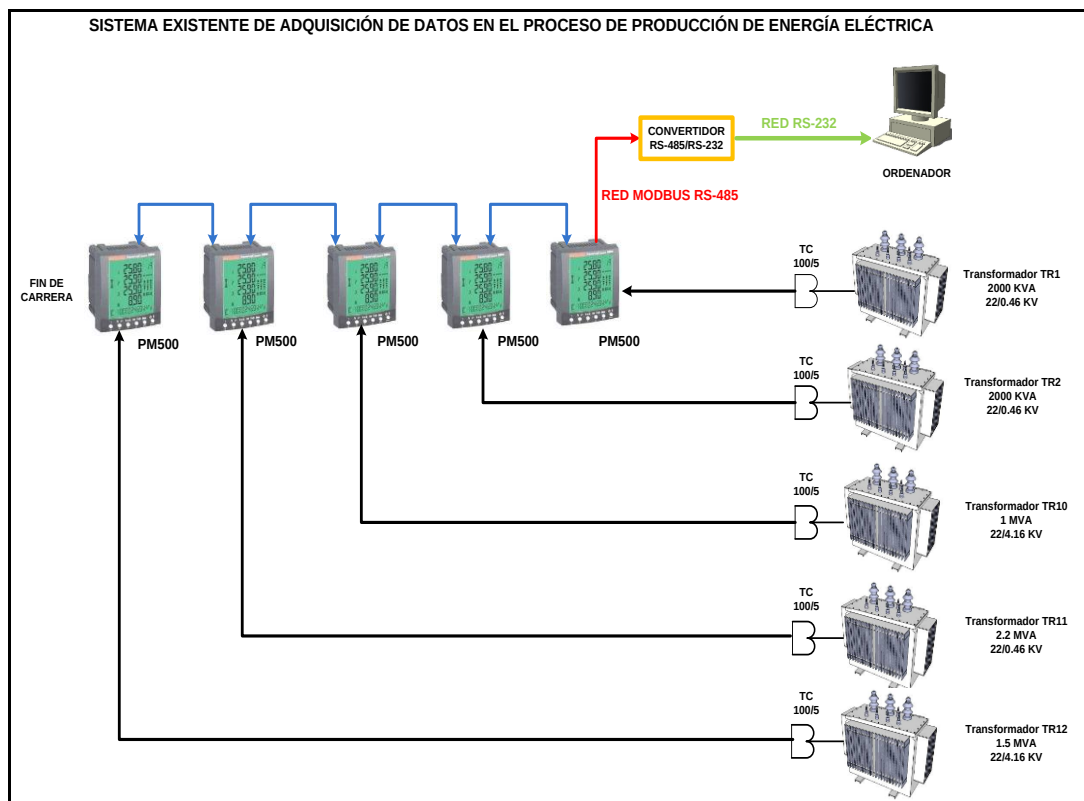


Figura 3.1. Disposición del Sistema de Adquisición de datos para la Distribución de Energía Eléctrica.



Una vez que se ha consultado con el personal de operación y mantenimiento de la planta de fuerza y de acuerdo a los requerimientos de la misma, se ha optado por proponer la medición en tiempo real de los parámetros fundamentales (Corriente, Potencia, Factor de Potencia, Energía y Factor de Carga) de los transformadores que carecen de estas mediciones, con la finalidad de generar un historial de dichos parámetros que se utilizaran posteriormente en estudios de calidad de Energía de la planta de fuerza. Dichos transformadores son:

- TR-3.
- TR-4.
- TR-5.
- TR-9.

Adicionalmente, por cuestiones de operación y seguridad se ha optado por la implementación de la señalización de los seccionadores principales utilizados para las maniobras de establecimiento y corte de la energía eléctrica de los siguientes transformadores:

- TR-1.
- TR-2.
- TR-9.
- TR-10.
- TR-11.
- TR-12.

Para visualizar de mejor manera esta información se muestra a continuación las tablas 3.2 y 3.3:



Tabla 3.2: MEDICIÓN EXISTENTE EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

SECCIÓN	ELEMENTO		CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MAGNITUDES MEDIDAS
SUBESTACIÓN	ACOMETIDA	Reconectador automático ABB		Reconectador principal automático	Ip, Is, P, Vp, Vs, fp, Factor Carga
	TR-1	Transformador Trifásico	50-01	2000 KVA, 22KV-460V	Ip, Is, P, Vp, Vs, fp, Factor Carga
	TR-2	Transformador Trifásico	50-02	2000 KVA, 22KV-460V	Ip, Is, P, Vp, Vs, fp, Factor Carga
	TR-10	Transformador Trifásico	50-10	1000 KVA, 22KV-460V-380V	Ip, Is, P, Vp, Vs, fp, Factor Carga
	TR-12	Transformador Trifásico	50-12	1500 KVA, 22KV-4160V	Ip, Is, P, Vp, Vs, fp, Factor Carga
	TR-11	Transformador Trifásico	50-11	2200 KVA, 22KV-460V	Ip, Is, P, Vp, Vs, fp, Factor Carga

Tabla 3.3: SCADA PROPUESTO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

SECCIÓN	ELEMENTO		CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MAGNITUDES A MEDIR
SUBESTACIÓN	TR-3	Transformador Trifásico	50-03	200 KVA, 440V-440V	Ip, Is, P, Vp, Vs, fp, Factor Carga
	TR-4	Transformador Trifásico	50-04	200 KVA, 440V-220V	Ip, Is, P, Vp, Vs, fp, Factor Carga
	TR-5	Transformador Trifásico	50-05	1250 KVA, 6,3KV-440V	Ip, Is, P, Vp, Vs, fp, Factor Carga
	TR-9	Transformador Trifásico	50-09	350 KVA, 6,3KV-440V-220V	Ip, Is, P, Vp, Vs, fp, Factor Carga
	SECCIONADORES PRINCIPALES (TR-1, TR-2, TR-9, TR-10, TR-11, TR-12)			Seccionadores bajo carga de cuchilla con fusibles	Señalización ON-OFF (abierto o cerrado)

3.4. Determinación de las variables a medir y controlar en el Proceso de Producción de Agua Tratada:

Luego de inspeccionar los elementos que conforman el proceso de Producción de Agua Tratada, se ha observado que el único elemento que esta monitoreado mediante el Sistema de Adquisición de Datos de la planta de fuerza es la medición del nivel de agua que se encuentra en la piscina (figura 3.2), el cual se realiza mediante un sensor de nivel tipo radar guiado.

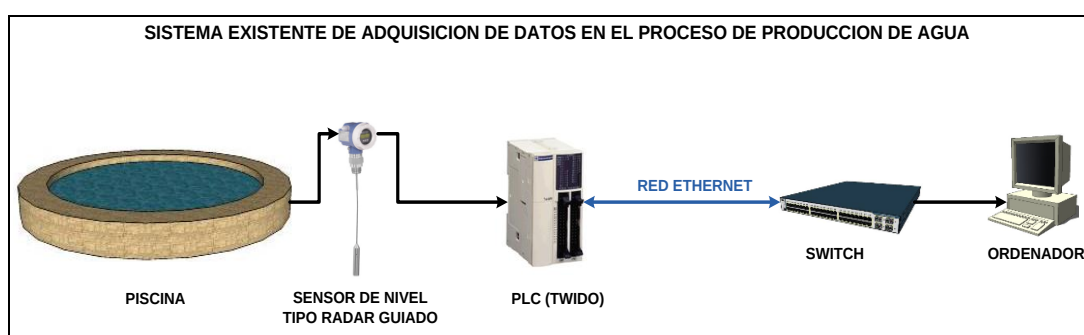


Figura 3.2. Disposición del Sistema de adquisición de datos para la medición del nivel de agua en la piscina.

La señal analógica resultante de dicha medición se envía a la entrada de un PLC, el mismo que se encarga de ejecutar las instrucciones y generar una señal de salida que será enviada a través de una red Ethernet existente en la planta para que pueda ser procesada por un ordenador y este nos muestre la magnitud de la señal medida en tiempo real.

Una vez realizada la inspección, se ha propuesto realizar la medición y el control del caudal de agua que ingresa al proceso desde la bocatoma hacia la piscina, ya que el agua constituye un elemento de vital importancia en la elaboración del papel.

Se realizará la medición del caudal de agua en la tubería que lleva el líquido hacia los filtros de grava para determinar el consumo de la planta de fuerza de este elemento.



En los filtros de grava es de gran importancia la medición de la presión en la tubería de salida ya que así se determinará si los filtros necesitan o no de trabajos de reparación o mantenimiento.

Adicionalmente, se realizará la señalización ON-OFF (funcionamiento) de las bombas que extraen el agua de la piscina y la llevan hacia los filtros, con la finalidad de tener plenamente identificadas las bombas que han actuado y durante que período de tiempo, y así establecer con certeza cuándo se debe dar mantenimiento a las mismas.

Para una mejor identificación de lo descrito anteriormente se presenta a continuación las tablas 3.4 y 3.5:



Tabla 3.4: MEDICION EXISTENTE EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA TRATADA.

SECCIÓN	CÓDIGO	ELEMENTO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MAGNITUDES MEDIDAS
PISCINA	79-10	AGITADOR FLUCTUACIÓN MECÁNICA	05-26	Mezcla los químicos	
			05-27		
			05-28		
		PISCINA	79-10	Almacenamiento de agua	Altura máxima y mínima
		BOMBAS AGUA DE PROCESOS	74-01	Llevan el agua a los filtros de grava	
			74-02		
			74-03		

Tabla 3.5: SCADA PROPUESTO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA TRATADA.

SECCIÓN	CÓDIGO	ELEMENTO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MAGNITUDES A MEDIR	ELEMENTOS A CONTROLAR
BOCATOMA	74-19	COMPUERTAS	CB1,CB2,CB3	Permite el ingreso del agua desde el río	Caudal de ingreso de agua	Caudal de agua.
DESARENADERO	79-22	COMPUERTAS	CD1,CD2	Elimina las arenas del agua		
PISCINA	79-10	AGITADOR FLUCTUACIÓN MECÁNICA	05-26	Motores para mezclar los químicos		
			05-27			
			05-28			
		PISCINA	79-10	Medición del Nivel Max y Min de Agua		
		BOMBAS AGUA DE PROCESOS	74-01	Llevan el agua a los filtros de grava	Señalización ON-OFF, Caudal	
			74-02			
			74-03			
FILTROS DE GRAVA		TUBERÍAS		Tubería de salida de los filtros	Presión	



3.5. Determinación de las variables a medir y controlar en el Proceso de Producción de Vapor:

En lo correspondiente al Sistema de adquisición de datos implementado en el proceso de Producción de Vapor se presentan los siguientes aspectos:

Se ha observado que existe la monitorización de la temperatura del bunker en el tanque diario de combustible.

También se dispone de la medición de la temperatura a la que se encuentra el agua en el tanque make up.

En lo referente al sistema de Calderas, únicamente se monitorea la Caldera Pirotubular “Cleaver Brooks”, en donde se tiene la información en tiempo real de la temperatura del bunker de ingreso a la caldera y de los gases de salida, la señalización ON-OFF del ventilador de toma de aire y de las bombas de agua y combustible, además del nivel de agua en el interior de la caldera.

Existe también la medición del caudal de vapor total que circula por la tubería que se dirige a los distintos procesos de fabricación del papel.

Estas mediciones son realizadas con los respectivos sensores y transductores, obteniendo señales analógicas proporcionales a la magnitud de la señal medida que son enviadas directamente a las entradas del PLC, el cual se encarga de recibirlas, adecuarlas y ejecutar las instrucciones para posteriormente generar las señales de salida que serán enviadas a través de la red MODBUS RS-485 de la planta de fuerza y puedan ser procesadas por un ordenador y se visualicen las magnitudes de las señales medidas en su pantalla en tiempo real, tal como lo muestra la figura 3.3.

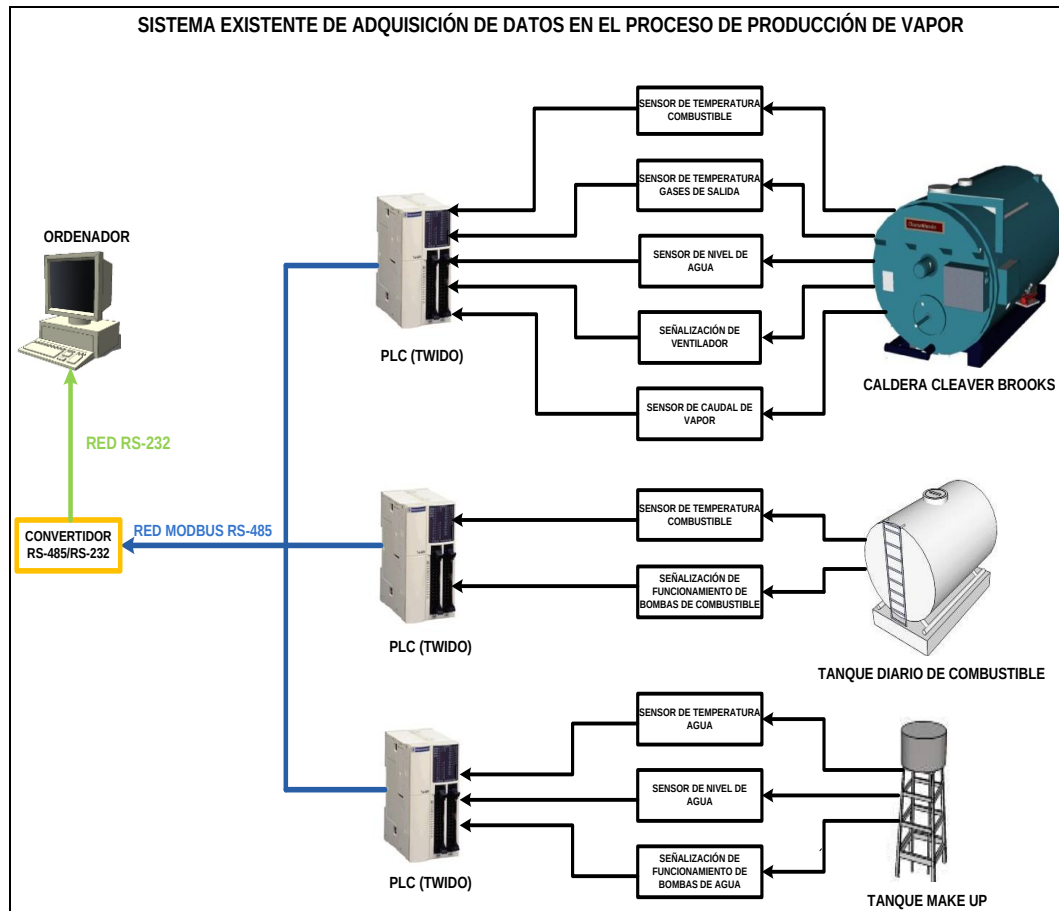


Figura 3.3. Disposición de sistema de adquisición de datos para la Producción de Vapor.

Una vez que se ha determinado cuales son los parámetros principales y fundamentales en este proceso, se han planteado las siguientes consideraciones:

Como la cantidad de bunker con las que se alimentan a las calderas es de suma importancia para el proceso de Producción de Vapor, se propone medir y controlar el nivel de bunker existente en el tanque diario de combustible con el propósito de monitorear y controlar constantemente y en tiempo real que no haya insuficiencia del combustible en las calderas, evitando averías y sobre todo garantizando que estas puedan producir la cantidad necesaria de vapor.

En lo correspondiente a las calderas “Pelucchi”, “Fontana” y “Babcock & Wilcox”, se propone la señalización ON-OFF de las bombas de combustible, bombas de agua y ventiladores de toma de aire ya que es indispensable verificar si las calderas están siendo alimentadas con los elementos esenciales para su funcionamiento como lo son el bunker, agua y aire.

También se propone medir el caudal de agua que ingresa a las calderas, la temperatura del combustible de ingreso y la temperatura de los gases de combustión emitidos ya que son indicadores principales para determinar la eficiencia de las calderas.

A continuación se muestran las tablas 3.6 y 3.7 que resumen lo expuesto anteriormente para el proceso de Producción de Vapor:



Tabla 3.6. MEDICION EXISTENTE EN EL PROCESO DE PRODUCCION DE VAPOR.

SECCIÓN	CÓDIGO	ELEMENTO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MAGNITUDES MEDIDAS
TANQUE MAKE-UP	79-02	TANQUE MAKE-UP	79-02	Almacenamiento de agua blanda	Nivel agua Max. y Min., Temperatura
TANQUE PRINCIPAL DE BUNKER	79-05	BOMBA DESCARGA BUNKER	74-25	Bombea combustible al tanque de transferencia	
TANQUE DIARIO DE BUNKER	79-06	TANQUE DIARIO DE BUNKER	79-06	Almacenamiento de Bunker	Temperatura del combustible
CALDERA CLEAVER BROOKS	70-06	CALDERA	70-06	Caldera Pirotubular	Nivel agua Max. y Min.
		BOMBA AGUA 1	74-201	Bombea agua a la caldera Cleaver Brooks	Señalización de funcionamiento
		BOMBA AGUA 2	74-205		
		BOMBA DE COMBUSTIBLE 1	74-202	Bombea combustible a la caldera Cleaver Brooks	Señalización de funcionamiento
		BOMBA DE COMBUSTIBLE 2	74-203		
		TUBERÍA DE INGRESO DE COMBUSTIBLE		Lleva Bunker a la caldera	Temperatura del combustible
		VENTILADOR	75-10	Toma de aire para la caldera	Señalización de funcionamiento
		CHIMENEA DE LA CALDERA		Desfogue de gases de combustión	Temperatura de gases de combustión
TUBO PRINCIPAL DE VAPOR		TUBERÍA		Tubería que lleva vapor al proceso	Caudal de vapor



Tabla 3.7. SCADA PROPUESTO EN EL PROCESO DE PRODUCCION DE VAPOR.

SECCIÓN	CÓDIGO	ELEMENTO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MAGNITUDES A MEDIR	MAGNITUDES A CONTROLAR
TANQUE MAKE-UP	79-02	TANQUE MAKE-UP	79-02	Almacenamiento de agua blanda		
TANQUE PRINCIPAL DE BUNKER	79-05	TANQUE	79-05	Almacenamiento de Bunker		
		BOMBA DESCARGA BUNKER	74-25	Bombee combustible al tanque de transferencia		
TANQUE DIARIO DE BUNKER	79-06	TANQUE DIARIO DE BUNKER	79-06	Almacenamiento de Bunker	Nivel de combustible	Nivel de combustible
CALDERA PELUCCHI	70-03	CALDERA	70-03	Caldera Piro tubular		
		BOMBA DE AGUA 1	70-03	Bombee agua a la Caldera Pelucchi	Señalización ON-OFF	
		BOMBA DE AGUA 2	70-03			
		BOMBA DE COMBUSTIBLE 1	70-03	Bombee combustible a la Caldera Pelucchi	Señalización ON-OFF	
		BOMBA DE COMBUSTIBLE 2	70-03			
		TUBERÍA DE AGUA		Alimentación de agua a la caldera	Caudal	
		TUBERÍA DE INGRESO DE COMBUSTIBLE		Lleee Bunker a la caldera	Temperatura del combustible	
		VENTILADOR		Toma de aire para la caldera	Señalización ON-OFF	
		CHIMENEA DE LA CALDERA		Desfogue de gases de combustión	Temperatura de gases de combustión	



SECCIÓN	CÓDIGO	ELEMENTO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MAGNITUDES A MEDIR	MAGNITUDES A CONTROLAR
CALDERA FONTANA	70-04	CALDERA	70-04	Caldera Acuatubular		
		BOMBA DE AGUA 1	74-11	Bombea agua a la caldera Fontana	Señalización ON-OFF	
		BOMBA DE AGUA 2	74-208			
		BOMBA DE COMBUSTIBLE 1	87-01	Bombea combustible a la caldera Pelucchi	Señalización ON-OFF	
		BOMBA DE COMBUSTIBLE 2	87-02			
		TUBERÍA DE AGUA		Alimentación de agua a la caldera	Caudal	
		TUBERÍA DE INGRESO DE COMBUSTIBLE		Lleva Bunker a la caldera	Temperatura del combustible	
		VENTILADOR		Toma de aire para la caldera	Señalización ON-OFF	
		CHIMENEA DE LA CALDERA		Desfogue de gases de combustión	Temperatura de gases de combustión	



SECCIÓN	CÓDIGO	ELEMENTO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MAGNITUDES A MEDIR	MAGNITUDES A CONTROLAR
CALDERA BABCOCK&WILCOX	70-05	CALDERA	70-05	Caldera Acuatubular		
		BOMBA DE AGUA 1	74-92	Bombea agua a la caldera Fontana	Señalización ON-OFF	
		BOMBA DE COMBUSTIBLE 1	870-201	Bombea combustible a la caldera B&W	Señalización ON-OFF	
		BOMBA DE COMBUSTIBLE 2	870-202			
		TUBERÍA DE AGUA		Alimentación de agua a la caldera	Caudal	
		TUBERÍA DE INGRESO DE COMBUSTIBLE		Lleva Bunker a la caldera	Temperatura del combustible	
		VENTILADOR	75-06	Toma de aire para la caldera	Señalización ON-OFF	
		CHIMENEA DE LA CALDERA		Desfogue de gases de combustión	Temperatura de gases de combustión	

3.6. Determinación de las variables a medir y controlar en el Proceso de Producción de Aire Comprimido:

La Producción de Aire Comprimido es otro de los procesos de vital importancia ya que el aire que aquí se presuriza es utilizado por máquinas y herramientas neumáticas en distintas secciones de la planta dedicadas a la preparación y elaboración del papel. Realizando la inspección del proceso se ha podido verificar que no se dispone de ningún tipo de señalización o control en su funcionamiento. Es por este motivo que se ha coordinado con los encargados de operación y mantenimiento de la planta de fuerza, y se ha visto la necesidad de realizar la medición de la presión en el tanque acumulador pulmón, para determinar si la presión que llega a los puntos requeridos es la adecuada para garantizar su buen funcionamiento y por ende una buena calidad del producto terminado, o si los compresores necesitan de trabajos de reparación o mantenimiento. Además, es de gran importancia supervisar y registrar la presión existente en las tuberías a la salida de los secadores tipo regenerativo para las derivaciones correspondientes a Ondutec y al Molino Papelero, y así verificar que los niveles de presión sean adecuados para los requerimientos en estos procesos. A continuación se presenta la tabla 3.8 que resume lo expuesto anteriormente:

Tabla 3.8. SCADA PROPUESTO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.

SECCIÓN	ELEMENTO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MAGNITUDES A MEDIR
PRODUCCIÓN AIRE COMPRIMIDO	COMPRESOR INGERSOLL RAND 1	73-04	670 scfm	
	COMPRESOR INGERSOLL RAND 2	73-08	670 scfm	
	COMPRESOR BROOMMWADE 1	73-01	300 scfm	
	COMPRESOR INGERSOLL RAND 3	73-10	100 scfm	
	TANQUE ACUMULADOR (PULMÓN)	79-11	Capacidad de 7kg/cm ²	Presión
	SECADOR DE AIRE REGENERATIVO	86-01	Elimina la humedad	Presión para cada derivación



3.7. Determinación de las variables a medir y controlar en el proceso de recuperación de agua y pasta:

En el Proceso de Recuperación de Efluentes no existe señalización y control de funcionamiento, además no existen elementos que tengan una categoría de gran importancia para que estén dentro de un sistema de control.

Es por esto que se ha propuesto únicamente la señalización de funcionamiento de las bombas más importantes del proceso como son las bombas verticales de efluentes, bombas del pozo, bombas del filtro Sweco, bomba de agua hacia el tanque 12 y las bombas de extracción de pasta, esto con la finalidad de tener plenamente identificadas que bombas han actuado y durante que periodo de tiempo y así dar un correcto mantenimiento de las mismas, y además supervisar si existe algún problema de funcionamiento en el proceso.

También tiene un alto grado de importancia llevar un registro de la cantidad de efluentes que salen del proceso, es por esta razón que se realizará la medición del caudal en la tubería que lleva el agua al proceso y la tubería que lleva la pasta al Pulper.

Esto se puede visualizar de mejor manera en la tabla 3.9.:



Tabla 3.9. SCADA PROPUESTO EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE AGUA Y PASTA.

SECCIÓN	ELEMENTO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MAGNITUDES A MEDIR
TANQUE CISTERNA EFLUENTES	CISTERNA	79-14	Almacena los efluentes	
BOMBAS	BOMBA VERTICAL EFLUENTES	74-71 74-72 74-73	Llevar efluentes hacia el Tanque de precarga	Señalización ON-OFF
TANQUE DE DESCARGA		79-07	Paso de efluentes	
TANQUE DECANTADOR	AGITADOR 1 DEL DECANTADOR	78-11	Mueve el puente raspador	
	BOMBAS DEL POZO	74-74 74-75	Lleva la pasta hacia el Tanque espesador	
DEPÓSITO 1	BOMBA FILTRO SWECO	74-105	Lleva el agua hacia el Filtro Sweco	
FILTRO SWECO	FILTRO	77-08		
DEPÓSITO 2	BOMBA AGUA HACIA TANQUE 12 "PLANTA DE AGUAS"	74-106	Lleva el agua hacia el Proceso	Señalización ON-OFF, Caudal
TANQUE ESPESADOR	BOMBA EXTRACCIÓN DE PASTA	74-78 74-79	Lleva la pasta hacia el Pulper	Señalización ON-OFF, Caudal



CAPITULO 4

SISTEMAS SCADA

4.1. LOS SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL:

4.1.1. Introducción:

El concepto de control es extraordinariamente amplio, abarcando desde un simple interruptor que gobierna el encendido de una bombilla eléctrica, hasta el más complejo ordenador de proceso.

El control lo podríamos definir como la manipulación indirecta de las magnitudes de un sistema llamado “Planta” mediante otro sistema denominado “Sistema de Control”.

En el campo industrial, los primeros sistemas de control empezaron su desarrollo con el propósito de satisfacer las necesidades del nuevo esquema productivo nacido como consecuencia de la revolución industrial de finales del siglo XIX y principios del siglo XX. En sus inicios, estos sistemas se basaron en componentes mecánicos y electromecánicos con el advenimiento de la electricidad (relés, temporizadores, palancas, engranajes, y motores, etc.), pero a partir de los años cincuenta, gracias a los grandes logros y avances de la electrónica se empezaron a utilizar los semiconductores que permitían no solo el diseño de sistemas de menor tamaño y consumo de energía, sino también más rápidos, más precisos y con menos averías debido a un menor desgaste de componentes. En la década de los setenta, la complejidad y las prestaciones de los sistemas de control se incrementaron debido a la utilización de circuitos integrados, microprocesadores y ordenadores digitales. El empleo de ordenadores en la

industria estaba limitado al control de procesos complejos, debido a los costos elevados que ello implicaba, la necesidad de personal calificado tanto para la instalación de los equipos como su manejo y a la poca facilidad de interconexión con el proceso, donde se tenían señales de corriente y tensión imposibles de manipular directamente por el ordenador.

La demanda de la industria de contar con un sistema económico, robusto, flexible, modificable y capaz de manejar las tensiones y corrientes elevadas, hizo que se desarrollen los denominados “Autómatas Programables Industriales” o PLC.

4.1.2. Los sistemas de Control:

El objetivo primordial de un sistema de Control tal como lo indica la figura 4.1 es el de gobernar la respuesta de un proceso o planta, sin que el operador intervenga de forma directa sobre sus elementos de salida.

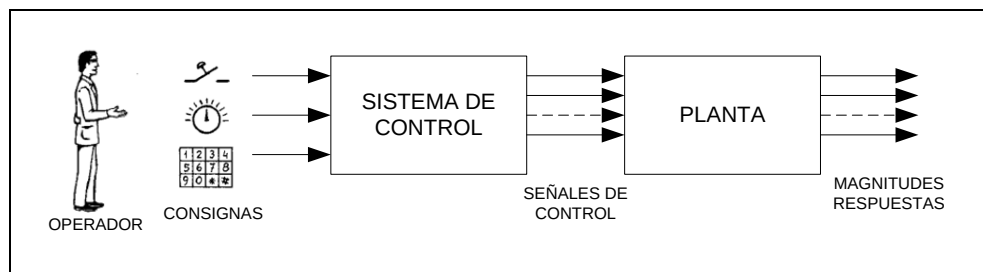


Figura 4.1. Sistema de Control.

Fuente: Balcells Josep, Romeral José Luis, *Autómatas Programables*, 1997, Barcelona-España.

El operador interviene sobre las magnitudes de consigna, mientras que el sistema de control actúa sobre las salidas mediante los accionamientos.

El sistema de control opera con magnitudes denominadas señales e interviene sobre los accionamientos que son los que regulan la cantidad de materia y/o energía entregada al proceso. Las señales gobiernan

accionamientos del sistema que son los que realmente regulan la salida. Presentan dos áreas de acción bien establecidas: la parte operativa y la parte de control.

En la parte operativa tenemos los dispositivos de *software* y *hardware* que proporcionan la información necesaria para cumplir con las operaciones de la planta utilizando una interfaz amigable para el operador, mientras que en la parte de control, encontramos a los dispositivos de control (PLC, ordenadores industriales, etc.) que permiten llevar a cabo los trabajos de control.

El control implica las acciones de mando, verificación y regulación. La regulación exige una señal de retorno (información) de la planta al sistema de control, que informe sobre el estado de operación del proceso. Aquellos sistemas, como el de la figura 4.2 que no reciben ningún tipo de información del comportamiento de la planta se los conoce como sistemas de control en lazo abierto.

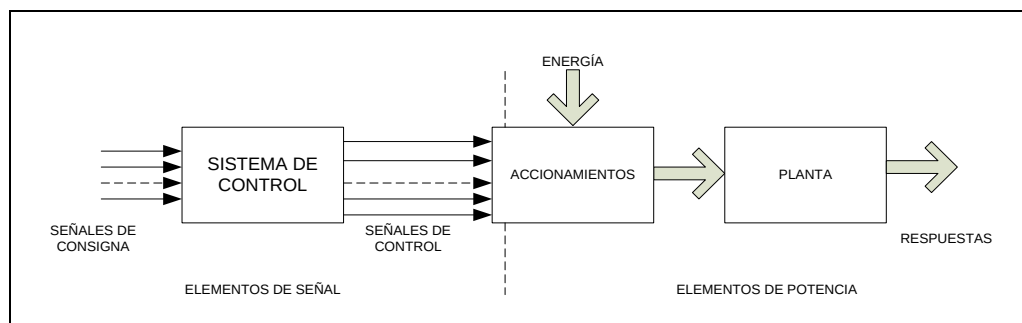


Figura 4.2. Sistema de Control en Lazo Abierto.

Fuente: Balcells Josep, Romeral José Luis, *Autómatas Programables*, 1997, Barcelona-España.

Lo habitual, sin embargo como lo indica la figura 4.3, es que el sistema de control se encargue de la toma de ciertas decisiones ante determinados comportamientos funcionales de la planta, refiriéndose entonces en este

caso a sistemas automáticos de control. Para ello se requiere la existencia de sensores y transductores que detecten el comportamiento de la planta y de interfaces para acoplar estas señales a las entradas del sistema de control. Este tipo de sistemas de control se denominan en lazo cerrado, ya que presentan una realimentación en la información del comportamiento de la planta, formando un lazo de control.

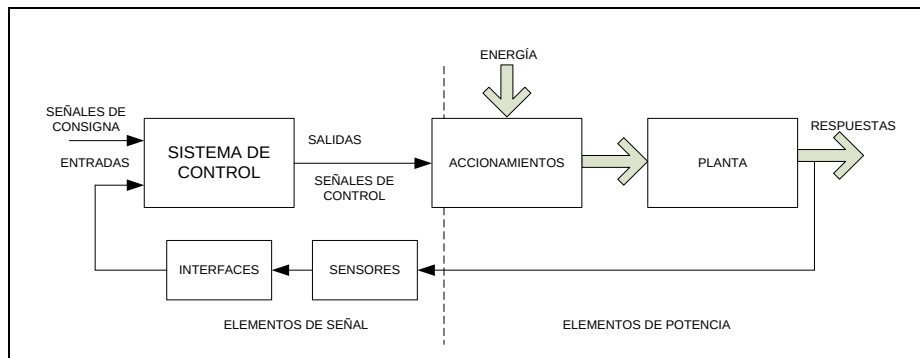


Figura 4.3. Sistema de Control en Lazo Cerrado.

Fuente: Balcells Josep, Romeral José Luis, *Autómatas Programables*, 1997, Barcelona-España.

4.1.3. Los primeros Autómatas Programables Industriales:

Los primeros autómatas programables pretendían reemplazar a los sistemas de control convencionales a base de relés o circuitos lógicos.

A mediados de los años setenta los autómatas incorporan a su estructura al microprocesador y memorias semiconductoras que permiten programar sin recablear, además, permitían realizar cálculos Matemáticos y la posibilidad de comunicarse con un ordenador central (ordenador encargado de controlar la planta enviando órdenes a los autómatas que gobiernan los procesos).

Hacia los finales de los años setenta, aparecen mejoras en los autómatas programables dándoles a estos:



- Mayor capacidad de almacenamiento (memoria).
- Capacidad de gobernar bucles de control.
- Mayor tipo de entradas/salidas (conexión más flexible de sensores/actuadores).
- Lenguajes de programación más funcionales.
- Sistemas de comunicación mucho más eficaces.

En los años ochenta siguen apareciendo nuevas mejoras, de las cuales se destaca:

- Mayor velocidad de procesamiento de la información.
- Disminución en las dimensiones físicas de los componentes y equipos.
- Aparición de técnicas de control más completas y complejas (control PID, fuzzy).
- Posibilidad de utilizar distintos lenguajes de programación.

En los años noventa, aparecieron los sistemas de control basados en ordenadores en la automatización industrial. Se afirmaba que estos sistemas podrían reemplazar en corto plazo a los PLC en numerosas aplicaciones. El ordenador se convertiría en la mejor opción para integrar funcionalidades avanzadas como: conectividad entre bases de datos, integración, control analógico, simulaciones basadas en Web y comunicaciones con terceros. Luego de algún tiempo, y como resultado de algunas mejoras e innovaciones aparecieron un tipo de controladores híbridos que permitían el manejo de variables tanto analógicas como digitales, en conjunto con características operacionales como: utilización de un procesador de punto flotante para cálculos, servidor Web interactivo que facilitaba las tareas de control y monitoreo, memoria compacta removible para un mejor registro y manejo de datos, puertos seriales múltiples y conexión de buses de campo para la comunicación a distancia.



En la actualidad, se dispone de una gran variedad de autómatas programables híbridos compactos, sencillos y modulares, con posibilidad de ampliación y con una tendencia marcada a la evolución continua de los sistemas de comunicación, constituyendo redes de autómatas que permitan implementaciones más complejas y seguras.

4.1.4. Los sistemas de visualización:

De un simple indicador de aguja, que puede representar una variable del proceso controlado (por ejemplo, la presión del aire en una instalación neumática), se ha llegado con el tiempo y el desarrollo tecnológico a grandes paneles sinópticos que muestran el estado de todas las variables de una instalación.

Debido a la necesidad de observar y controlar una máquina o proceso remoto, aparecieron los primeros cuadros de control, donde una gran cantidad de luces de señalización indicaban las diferentes situaciones operativas previstas. Cualquier imprevisto, podía significar varias horas de trabajo de un electricista para llevar la señal olvidada al panel de control con el riesgo de que no hubiera espacio para colocar el indicador.

La aparición de la informática permitió realizar este tipo de control de manera más sencilla. Los grandes cuadros de control pronto empezaban a ser reemplazados por monitores que podían mostrar la misma información de una manera mucho más amigable y compacta.

Vista la necesidad, varios fabricantes desarrollaron paquetes de *software* capaces de comunicarse con distintos sistemas de control permitiendo una flexibilidad de uso no imaginada hasta el momento. Esta tendencia ha ido en aumento, de tal manera que hoy en día las opciones existentes son diversas en cuanto a paneles o sistemas de visualización.



4.1.5. Controladores Lógicos Programables (PLC):

Los PLC aparecieron en la década de los setenta como unidades de control basadas en dispositivos de estado sólido utilizadas en los Sistemas Scada. Su función es proporcionar un manejo local de los procesos de planta a través de un control en lazo cerrado (realimentación de la información). En el caso de los Scada, cumple la misma función que los RTU (*Remote Terminal Unit*). Estos dispositivos también son implementados como componentes primarios en sistemas de control pequeño.

Los PLC constan fundamentalmente de una unidad de memoria programable para almacenar instrucciones con la finalidad de implementar funciones específicas tales como:

- Control de entradas/salidas.
- Lógicas.
- Temporización.
- Control PID.
- Comunicaciones.
- Procesamiento de datos.

Otra característica de un PLC es su capacidad de conexión directa a las señales de campo (valores de tensiones y corrientes industriales, sensores, transductores, etc.) y programable por el usuario.

4.1.5.1. Características:

La tendencia actual en el control de procesos complejos es utilizar al PLC en red o como periféricos de un ordenador, con lo cual se logra la combinación de la gran capacidad de cálculo del ordenador y la facilidad de interfaces estándar que ofrece el PLC.

La utilización de los PLC como elementos de mando proporcionan las siguientes características operativas a los sistemas de control en donde se los utilice:

- Flexibilidad en la implementación (ampliación, modificación y depuración).
- Permite la comunicación con otros PLC y ordenadores.
- Software estándar que permite la manipulación de datos y gestión de las tareas de producción.
- Interfaces estándares de ordenador para estaciones gráficas para monitorear los procesos de planta.
- Facilidad de interfaz con la planta.
- Posibilidad de supervisar el proceso en tiempo real.
- Flexibilidad para implementar cambios operacionales de control.

4.5.1.2. Arquitectura de un PLC:

De forma general, un PLC estándar está estructurado por los siguientes módulos que se indican claramente en la figura 4.4:

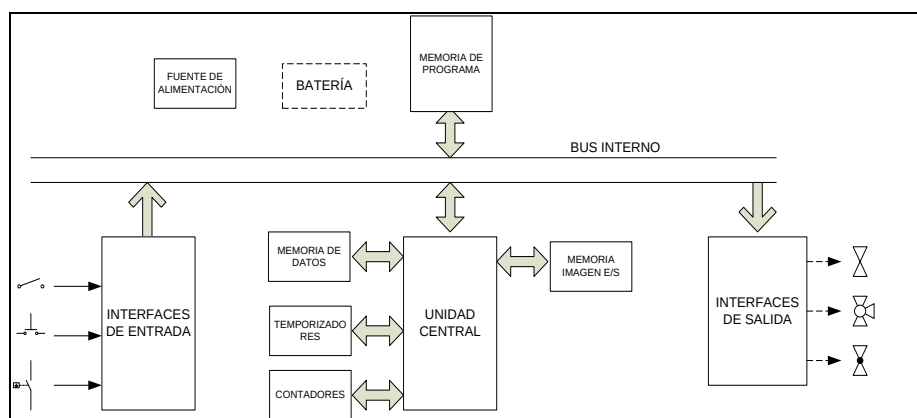


Figura 4.4. Arquitectura de un PLC estándar.

Fuente: Balcells Josep, Romeral José Luis, *Autómatas Programables*, 1997, Barcelona-España.



1. **Unidad Central de Proceso (CPU):** Su elemento fundamental es un microprocesador que se encarga de ejecutar el programa establecido por el usuario y de agilizar la transferencia de datos desde las entradas hacia las salidas. Además es la encargada de gestionar la comunicación con otros periféricos. Toma las instrucciones una por una, las decodifica y las ejecuta finalmente.
2. **Memoria del controlador:** La demanda de memoria se la puede categorizar en dos grupos:
 1. **Datos del proceso:**
 - Señales de planta, entradas y salidas.
 - Variables internas.
 - Datos alfanuméricos y constantes.
 2. **Datos del control:**
 - Programa del usuario.
 - Configuración del PLC (cantidad de entradas/salidas utilizadas, modo operacional, etc.).
3. **Interfaces de Entrada/Salida:** Establecen la comunicación con la planta, capturan la información de las señales de entrada emitida por sensores y transductores, y envía las señales de salida que harán actuar a los dispositivos, equipos y accionamientos en general a ser controlados. Para esto, las interfaces deben filtrar, adaptar y codificar las señales.
4. **Fuente de alimentación:** La fuente de alimentación proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema. Un autómata programable está conformado por bloques que requieren niveles de tensión y potencia diferentes



y que, además, están sometidos a condiciones ambientales de ruido electromagnético también distintas.

4.2. LOS SISTEMA SCADA:

“SCADA es el acrónimo de “Supervisory Control And Data Adquisition”, es decir, “Adquisición de Datos y Control Supervisorio”, sin embargo, para evitar diversas interpretaciones dadas al traducirlo al español, simplemente es empleado el término “SCADA” en el ámbito de la automatización industrial”¹.

Son aplicaciones de software diseñadas para funcionar sobre ordenadores y tecnologías de comunicación industriales, que realizan tareas de interface entre los niveles de control (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y los niveles de gestión con la finalidad de proporcionar la adquisición de datos, supervisión y control de procesos industriales remotos.

La Supervisión, Control y Adquisición de datos en los sistemas Scada involucran muchos subsistemas. Por ejemplo, la adquisición de datos de las variables físicas de instrumentación se la puede realizar a través de sensores y transductores que toman las señales y las adecuan para que puedan ser manejadas por una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) o bien por un Controlador Lógico Programable (PLC), los cuales toman las señales, las digitalizan y las envían a las estaciones remotas usando un protocolo de comunicación industrial determinado para que puedan ser procesadas por un ordenador.

Las tareas de Supervisión y Control se relacionan con aplicaciones de software y se las realiza desde la pantalla del ordenador, en donde el operador puede visualizar cada una de las estaciones remotas del sistema,

¹ ABONZA COBARRUBIAS JAVIER, *Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos para el Ahorro de Energía Eléctrica*, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F., Junio de 2008.



su estado operativo, situaciones e historial de alarmas, manejo de los datos producidos, variables de control y la posibilidad de actuar sobre algún equipo a distancia.

Los Sistemas Scada como tal, conforman una parte integral de la mayoría de los entornos industriales complejos o geográficamente dispersos, ya que pueden obtener rápidamente la información de una gran cantidad de fuentes o procesos y presentarla en una forma amigable para el usuario u operador, como por ejemplo una pantalla táctil o gráfica, una plantilla Excel, un documento Word, todo en ambiente Windows, con la finalidad de tomar decisiones operacionales rápidas y acertadas, mejorando notablemente la eficiencia del proceso.

Los datos que se generan en los procesos Industriales y que son procesados y utilizados por el Sistema Scada puede ser aprovechada por diversos usuarios dentro de la misma empresa, permitiendo la participación de diversas áreas de la producción como: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

4.2.1. Prestaciones de un Sistema SCADA:

Las prestaciones de un Sistema SCADA comprenden una serie de funciones y utilidades con el propósito de establecer una adecuada comunicación entre el proceso y el operador.

Las prestaciones que puede ofrecernos un Sistema Scada son las siguientes:

La monitorización:

Se refiere a la presentación de los datos de las variables en tiempo real al operador.



La supervisión:

Incluye la supervisión, mando, adquisición de datos de un proceso y herramientas de gestión para la toma de decisiones operativas del proceso. Incorporan además la capacidad de ejecutar programas que pueden supervisar y modificar el control establecido y, bajo ciertas condiciones, anular o modificar tareas asociadas a los autómatas programables.

La adquisición de datos de las variables de los procesos monitoreados:

Se pueden obtener datos de las variables físicas (temperatura, presión, caudal, etc.) de un proceso mediante sensores y transductores, transformarlas en magnitudes eléctricas o digitales para que puedan ser procesadas por los autómatas.

La visualización de los estados de las señales del sistema (alarmas y eventos):

Si se identifican situaciones fuera de lo normal producidas en un proceso o planta industrial, estas serán reportadas inmediatamente al operador para que pueda tomar las acciones correctivas pertinentes.

Además la posibilidad de crear paneles de alarma que alerten al operador de cambios detectados, tanto aquellos que no se consideran normales (alarmas) como aquellos que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos).

El mando:

Ofrece la posibilidad al operador de modificar las leyes de control o secuencias operativas del proceso directamente desde un ordenador actuando sobre las tareas asociadas al dispositivo de control, como por ejemplo: abrir o cerrar válvulas, arrancar o parar bombas, variar la velocidad de motores, etc.



4.2.2. Beneficios mediante el Sistema SCADA:

Con el desarrollo de los sistemas SCADA se ha logrado obtener una serie de beneficios, los cuales pueden ser resumidos de la siguiente forma:

- Brinda una mayor comodidad, confiabilidad y facilidad en el manejo y control de procesos industriales.
- Flexibilidad en la expansión del control y monitorización de procesos sin necesidad de desmontar el sistema o cambiar de tecnología.
- Monitoreo en tiempo real. Esto a su vez trae ventajas. Por ejemplo, se puede evitar averías en equipos si se detecta a tiempo una falla y se realiza el mantenimiento inmediato.
- Se pueden realizar acciones de mantenimiento, diagnóstico e incluso reparación desde el centro de control a equipos remotos (Telemantenimiento). Los sistemas de diagnóstico implementados en los elementos de control informan continuamente de cualquier incidencia en los equipos, y a distancia, pueden tomarse acciones correctivas a tiempo.
- Los sistemas Scada mejoran la gestión de los procesos industriales facilitando el análisis y presentación de datos y la interpretación de las acciones y programas de control a ejecutarse.
- Un sistema Scada puede proporcionar comunicación remota entre los módulo de control y el operador, manteniéndolos informados sobre cualquier incidencia.
- El desarrollo y proliferación de los sistemas Scada ha permitido una mayor integración entre sistemas mediante la estandarización tanto del software como del hardware.
- Un sistema monitoreado y controlado constantemente y en tiempo real ofrece mejores prestaciones y servicios.
- Reducción de costos de mantenimiento y operación.

4.2.3. Arquitectura de un Sistema SCADA:

4.2.3.1. Introducción:

Un Sistema Scada es una aplicación de *software* diseñada para operar sobre ordenadores en la monitorización y control de producción, proporcionando comunicación entre los dispositivos de campo o RTU (unidades remotas) que pueden ser elementos tales como autómatas programables, y un MTU (centro de control o Unidad Central), donde se controla el proceso de forma automática desde la pantalla de uno o varios ordenadores.

La estructura funcional de un sistema de visualización y adquisición de datos se la puede apreciar en la figura 4.5., la cual obedece generalmente a la estructura Maestro-Esclavo. La Estación Central (Maestro) se comunica con el resto de estaciones (Esclavo) requiriendo de estas una serie de acciones o datos.

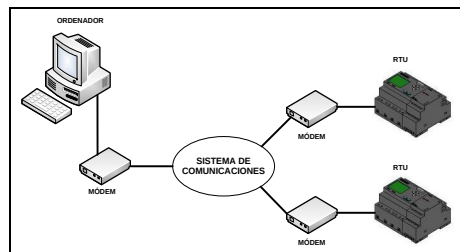


Figura 4.5. Estructura básica de un Sistema Scada.

4.2.3.2. Componentes de Hardware:

Un sistema Scada, como aplicación de *software* industrial específica, necesita ciertos componentes de hardware en su sistema, para poder tratar y gestionar la información captada. Un ejemplo de la estructura básica de estos sistemas se presenta en la figura 4.6.:

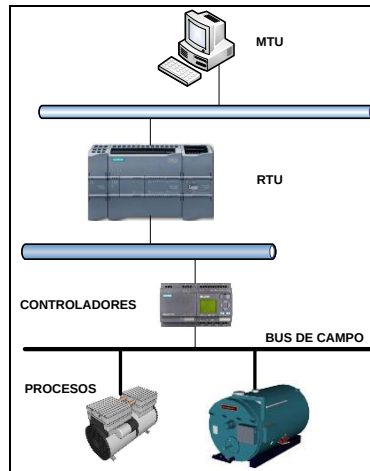


Figura 4.6. Estructura básica de un Sistema Scada a nivel de Hardware.
Un sistema Scada está dividido en dos grandes grupos:

1. **Captadores de datos:** Recopilan los datos de los elementos de control del sistema (autómatas programables, registradores, reguladores) y los procesan para su utilización, es decir son los servidores del sistema.
2. **Utilizadores de datos:** Aquellos que utilizan la información recogida por los anteriores, como pueden ser las herramientas de análisis de datos o los operadores del sistema, es decir son los clientes o usuarios del sistema.

Mediante los buses de campo, los controladores de proceso (generalmente autómatas programables o sistemas de regulación) envían la información a los servidores de datos (*Data Servers*) los cuales, a su vez, intercambian la información con niveles superiores del sistema automatizado a través de redes de comunicaciones de área local.

Estos sistemas están formados por los siguientes elementos básicos:

- Interface Hombre-Máquina (HMI).
- Unidad Central (MTU).



- Unidad Remota (RTU).
- Sistema de Comunicaciones.
- Instrumentos de Campo.

4.2.3.2.1. Interface Hombre-Máquina o HMI (*Human Machine Interface*):

Es la interfaz o interfaces entre el operador (ser humano) y una máquina con la finalidad de controlar y supervisar un determinado proceso productivo.

Estas interfaces se presentan en una gran variedad de formatos, los mismos que incluyen gráficos, esquemas, ventanas, menús desplegables, pantallas táctiles, etc.

Existen diversos tipos de HMI, pero los más utilizados y difundidos son los desarrollados sobre diversos entornos de programación grafica, y aquellos paquetes de software que engloban la mayoría de las funciones estándar de los sistemas Scada, tales como WinCC de Siemens e Intouch de Wonderware por citar los más conocidos.

Cabe mencionar que a los sistemas HMI también se los conoce con el término “software HMI”, siendo las principales funciones que cumplen las siguientes:

- **Monitoreo:** Se obtienen y muestran datos del proceso en tiempo real.
- **Supervisión:** Nos permite la opción de reajuste de las condiciones operativas del proceso directamente desde el ordenador.
- **Alarmas:** Permiten reconocer eventos y acciones anormales en el proceso, y reportarlas a tiempo para corregirlas.
- **Control:** Ayuda en la aplicación de algoritmos de control con la finalidad de ajustar las variables del proceso y mantenerlos dentro de valores límites preestablecidos.



4.2.3.2.2. Unidad Central o MTU (*Master Terminal Unit*):

Se trata del ordenador principal del sistema el cual supervisa y recoge la información del resto de las subestaciones, bien sean otros ordenadores conectados (en sistemas complejos) a los instrumentos de campo o directamente sobre dichos instrumentos. Este ordenador suele ser una PC, la cual soporta HMI.

Las funciones principales de la MTU son:

- **Adquisición de datos:** Recolección de datos de los RTU's.
- **Trending:** Salvar los datos en una base de datos, y ponerlos a disposición de los operadores en forma de gráficos.
- **Procesamiento de Alarmas:** Analizar los datos recogidos de los RTU's y verificar si han ocurrido condiciones anormales, y alertar al personal de operaciones sobre las mismas.
- **Control:** Control a Lazo Cerrado, e iniciados por el operador.
- **Visualizaciones:** Gráficos del equipamiento actualizado para reflejar datos del campo.
- **Informes:** La mayoría de los sistemas Scada tienen un ordenador dedicado a la producción de reportes conectado en red (LAN o similar) con el principal.
- **Interfaces con otros sistemas:** Transferencia de datos hacia y desde otros sistemas corporativos para, por ejemplo, el procesamiento de órdenes de trabajo, de compra, la actualización de bases de datos, etc.
- **Seguridad:** Control de acceso a los distintos componentes del sistema.
- **Administración de la red:** Monitoreo de la red de comunicaciones.



- **Administración de la Base de datos:** Agregar nuevas estaciones, puntos, gráficos, puntos de cambio de alarmas, y en general, reconfigurar el sistema.
- **Aplicaciones especiales:** Casi todos los sistemas Scada tendrán cierto software de aplicación especial, asociado generalmente al monitoreo y al control de la planta.

4.2.3.2.3. Unidad Remota o RTU (*Remote Terminal Unit*):

RTU es un dispositivo instalado en una posición remota que obtiene datos, los descifra en un formato y transmite los datos de nuevo a una unidad terminal maestra (MTU). La RTU también recoge la información del dispositivo principal y pone los procesos en ejecución que son dirigidos por la MTU.

La RTU se conecta al equipo físicamente y lee los datos de estado como abierto/cerrado desde una válvula o un intercambiador, lee las medidas como presión, flujo, voltaje o corriente y así la RTU puede enviar señales que pueden controlar los dispositivos para abrirlos, cerrarlos, intercambiar la válvulas, configurar la velocidad de una bomba, etc.

Es capaz de ejecutar programas simples autónomos sin la participación de la Unidad Terminal Maestra (MTU), para simplificar el despliegue y proporcionar la redundancia por razones de seguridad. La RTU en un sistema de gerencia tiene típicamente un código para modificar su comportamiento cuando los interruptores de invalidación físicos son accionados, por ejemplo el movimiento de una palanca durante el mantenimiento por el personal correspondiente.

Esto se hace por razones de seguridad; una pérdida de comunicación entre los operadores de sistema y el personal del mantenimiento podría hacer que



operadores del sistema cometan un error al permitir el paso de energía, el activar el funcionamiento de una bomba, etc.

Una tendencia actual es la de dotar a los PLC's (en función de las E/S a gestionar) con la capacidad de funcionar como RTUs gracias a un nivel de integración mayor y CPUs con mayor potencia de cálculo. Esta solución minimiza costes en sistemas donde las subestaciones no sean muy complejas sustituyendo el ordenador industrial mucho más costoso.

4.2.3.2.4. Sistema de Comunicaciones:

Este es el nivel que gestiona la información que los instrumentos de campo envían a la red de ordenadores desde el sistema. El tipo de Bus utilizado en las comunicaciones puede ser muy variado según las necesidades del sistema y del *software* escogido para implementar el sistema Scada, ya que no todos pueden trabajar con cualquier tipo de Bus existente. Hoy en día, gracias a la estandarización de las comunicaciones con los dispositivos de campo, podemos implementar un sistema Scada sobre prácticamente cualquier tipo de Bus.

Los podemos encontrar sobre formatos estándares de transmisión de datos serial como los RS-232, RS-422 y RS-485 a partir de los cuales, y mediante un protocolo TCP/IP, podemos conectar el sistema sobre cualquier tipo de bus de campo industriales, hasta las formas más modernas de comunicación como Bluetooth (Bus de Radio), Micro-Ondas, Satélite, Cable Coaxial, Fibra Óptica, etc.

Otra característica de las comunicaciones de un sistema Scada es que la mayoría se implementan sobre sistemas WAN (*Wide Área Network*) de comunicaciones, es decir, los distintos terminales RTU pueden estar dispersos geográficamente.

4.2.3.2.5. Topologías:

Las diversas combinaciones de los elementos que se comunican dan lugar a las siguientes topologías de los sistemas de comunicación:

Punto a Punto: La relación es del tipo Maestro-Esclavo como lo indica la figura 4.7. Un solo elemento remoto (RTU) está conectado al sistema de control (MTU) mediante una línea de comunicación.

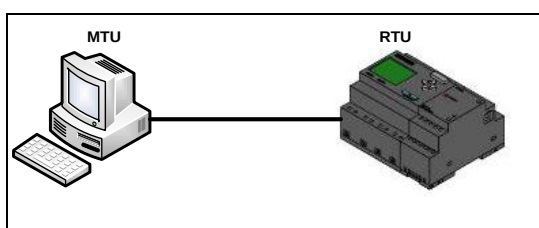


Figura 4.7. Topología Punto a Punto.

Multipunto dedicado: Una variante del modelo anterior. Un solo sistema de control conectado a varias estaciones remotas mediante enlaces directos permanentes como lo muestra la figura 4.8. Esta configuración es delicada, pues todo el tráfico de la red se encuentra en un solo punto, la Unidad Central, que debe poder gestionar todo el tráfico generado por el resto de elementos.

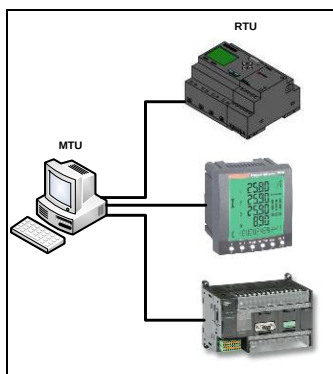


Figura 4.8. Topología Multipunto dedicado.

Multipunto compartido estrella: Tipo Maestro-Eslavo. Esta configuración en estrella utiliza un solo puerto de comunicaciones, realizándose el intercambio de datos por turnos. Esto es posible debido a que las estaciones remotas tienen identificadores únicos.

Multipunto compartido en bus: Similar al anterior, pero con estructura Maestro-Eslavo, Multimaestro o Cliente-Servidor tal como lo indica la figura 4.9. Una o varias unidades centrales están conectadas a una o varias estaciones remotas mediante un bus común. El acceso es también por orden y está gestionado por el sistema Maestro.

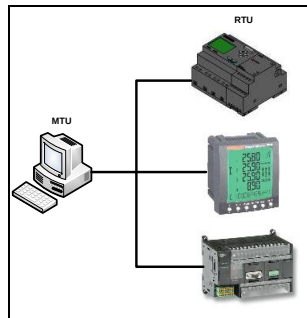


Figura 4.9. Topología Multipunto compartido estrella.

Multipunto compartido en anillo: Es un sistema mucho más robusto que los anteriores debido a que proporciona dos caminos para la información. En caso de fallo en un nodo, el tráfico de información no se interrumpe. Un ejemplo de esta topología podemos apreciarla en la figura 4.10:

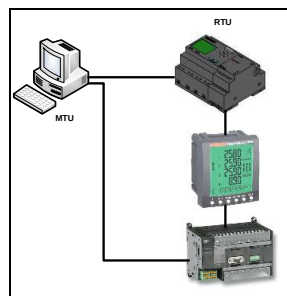


Figura 4.10. Topología Multipunto compartido en anillo.



4.2.3.2.6. Instrumentos de Campo:

Son todos aquellos que se encargan de la captación de información (sensores y alarmas) y la automatización o control del sistema (por ejemplo: PLC's, controladores de procesos industriales, y actuadores en general).

Una característica de los Sistemas Scada es que sus componentes son diseñados por distintos proveedores, sin coordinación entre sí. Así, se tienen diferentes proveedores para las RTUs (incluso es posible que un sistema utilice RTUs de más de un proveedor), módems, radios, minicomputadores, software de supervisión e interface con el operador, software de detección de pérdidas, etc.

4.2.3.3. Estructura y componentes de un Software SCADA:

Un programa del tipo HMI se ejecuta en un ordenador o terminal grafico, mientras que programas específicos le permiten comunicarse con los dispositivos de control de planta (hacia abajo) y los elementos de gestión (hacia arriba). Estos programas son los denominados controladores o *drivers* de comunicaciones.

Una parte del paquete contiene todos los controladores de comunicación entre nuestra aplicación y el exterior, ocupándose de gestionar los enlaces de comunicación, tratamiento de la información a transferir y protocolos de comunicación (Profibus, CAN, Ethernet, etc.). Por lo general, son programas que debemos pagar por las licencias para poder utilizarlos.

El controlador realiza la función de traducción entre el lenguaje del programa Scada y el del autómatas (hacia abajo, por ejemplo profibus), o entre el Scada y la red de gestión de la empresa (hacia arriba, por ejemplo Ethernet).

Generalmente la configuración del controlador de comunicaciones se la realiza durante la instalación del software principal o como programa de acceso externo al ejecutar la aplicación principal. Para entender de mejor manera este concepto encontramos un ejemplo en la figura 4.11:

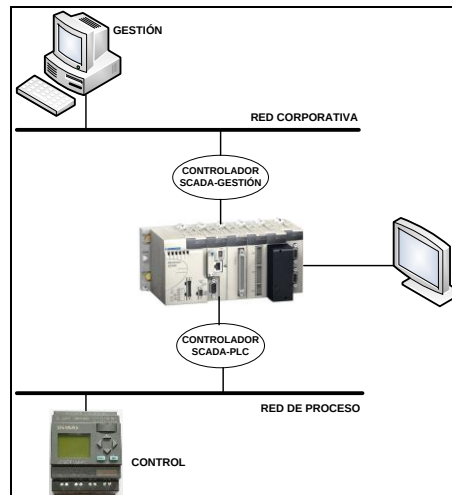


Figura 4.11. Concepto de *driver* o controlador.

Según la importancia del sistema, es posible especializar componentes, realizando tareas exclusivas dentro del sistema de control (servidores de datos, de alarmas, de históricos, de interfaces hombre-máquina, etc.). Una vez que los datos de planta se han procesado, pueden transferirse a otras aplicaciones de software tales como hojas de cálculo o bases de datos.

Esto es lo que podríamos llamar “gestión de datos” que nos permite analizar eventos, alarmas, emergencias, etc., ocurridos durante la producción.

En un programa Scada tendremos dos bloques bien definidos: el programa de desarrollo y el programa de ejecución o *Run-Time*.

El programa de desarrollo: Engloba las utilidades relacionadas con la creación y edición de las diferentes ventanas de la aplicación, así como sus características (textos, dibujos, colores, propiedades de los objetos, programas, etc.).



El programa de ejecución: Permite ejecutar la aplicación creada con el programa de desarrollo.

Los módulos o bloques de un software que permiten las actividades de adquisición de datos, supervisión y control de procesos son los siguientes:

Configuración: Permite al usuario definir el entorno de trabajo de su aplicación según la disposición de pantallas requerida y los niveles de acceso para los distintos usuarios.

Dentro del módulo de configuración el usuario define las pantallas gráficas o de texto que va a utilizar, importándolas desde otra aplicación o generándolas desde el propio Scada. Para ello, se incorpora un editor gráfico que permite dibujar a nivel de píxel (punto de pantalla) o utilizar elementos estándar disponibles, líneas, círculos, textos o figuras, con funciones de edición típicas como copiar, mover, borrar, etc.

Durante la configuración se seleccionan los *drivers* de comunicación que permitirán el enlace con los elementos de campo y la conexión o no en red de estos últimos, además se selecciona el puerto de comunicación sobre el ordenador y los parámetros de la misma.

En algunos sistemas es posible también indicar en la configuración las variables que después se van a visualizar, procesar o controlar, en forma de lista o tabla donde pueden ser definidas y facilitar la programación posterior.

Interfaz gráfico del operador: Proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta.

El proceso a supervisar se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el Scada o importados desde otra aplicación de uso general (Paintbrush, DrawPerfect, AutoCAD, etc.) durante la configuración del paquete.



Los sinópticos están formados por un fondo fijo y varias zonas activas que cambian dinámicamente a diferentes formas y colores, según los valores leídos en la planta o en respuesta a las acciones del operador.

Se tienen que tener en cuenta algunas consideraciones a la hora de diseñar las pantallas:

- Las pantallas deben tener apariencia consistente, con zonas diferenciadas para mostrar la planta (sinópticos), las botoneras y entradas de mando (control) y las salidas de mensajes del sistema (estados, alarmas).
- La representación del proceso se realizará preferentemente mediante sinópticos que se desarrollan de izquierda a derecha.
- La información presentada aparecerá sobre el elemento gráfico que la genera o soporta, y las señales de control estarán agrupadas por funciones.
- La clasificación por colores ayuda a la comprensión rápida de la información. Los colores serán usados de forma consistente en toda la aplicación: por ejemplo, si *rojo* significa peligro o alarma, y *verde* se percibe como indicación de normalidad, éste será el significado dado a estos colores en cualquier parte de la aplicación.
- Previendo dificultades en la observación del color debe añadirse alguna forma de redundancia, sobre todo en los mensajes de alarma y atención: textos adicionales, símbolos gráficos dinámicos, intermitencias, etc.

Módulo de proceso: Ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas.

Sobre cada pantalla se puede programar relaciones entre variables del ordenador o del autómatas que se ejecutan continuamente mientras la pantalla esté activa. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (C, Basic, etc.).



Las relaciones entre variables que constituyen el programa de mando que el SCADA ejecuta de forma automática pueden ser de los tipos siguientes:

- Acciones de mando automáticas preprogramadas dependiendo de valores de señales de entrada, salida o combinaciones de éstas.
- Maniobras o secuencias de acciones de mando.
- Animación de figuras y dibujos, asociando su forma, color, tamaño, etc., a valor actual de las variables.
- Gestión de recetas, que modifican los parámetros de producción (consignas de tiempo, de conteo, estados de variables, etc.) de forma preprogramada en el tiempo o dinámicamente según la evolución de planta.

Gestión y archivo de datos: Se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, según formatos inteligibles para periféricos hardware (impresoras, registradores) o software (bases de datos, hojas de cálculo) del sistema, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

Pueden seleccionarse datos de planta para ser capturados y almacenados a intervalos periódicos como un registro histórico de actividad, o para ser procesados inmediatamente por alguna aplicación software para presentaciones estadísticas, análisis de calidad o mantenimiento. Una vez procesados, los datos se presentan en forma de gráficas, histogramas, etc., que permiten después analizar la evolución global del proceso.

4.2.4. Tipos de Software SCADA:

Existe una gran variedad de *Software* que proporcionan funcionalidad Scada completa bajo *Windows* disponibles en el mercado, pero el más reconocido y utilizado en el entorno industrial para la visualización y manejo de procesos Industriales es el SIMATIC que comprende un sinnúmero de productos



estandarizado, flexibles y escalables como, por ejemplo, el *software* HMI WINCC flexible desarrollado por SIEMENS.

4.2.4.1. SIMATIC WINCC flexible:

SIMATIC WINCC flexible es un sistema de visualización de procesos dotado de potentes funciones para la supervisión de procesos automatizados. WinCC aporta funcionalidad Scada completa en *Windows* para todos los sectores, desde sistemas monopuesto hasta sistemas multipuesto distribuidos con soluciones para todos los lugares de instalación.

WinCC flexible resulta adecuado como interfaz hombre-máquina (HMI) para muchas de las aplicaciones a pie de máquina y a pie de proceso en el ámbito de la supervisión y automatización industrial. Además, ofrece una gama de soluciones *software* para todos los paneles de mando SIMATIC HMI, desde el más pequeño *Micro Panel* hasta el *Multi Panel*, así como el *software* de visualización ***RUNTIME*** para soluciones individuales basadas en PC bajo *Windows XP / Windows 7*.

El *Software* SIMATIC WinCC flexible contiene innovadoras y sofisticadas herramientas de ingeniería para la configuración de todos los paneles de mando SIMATIC HMI disponibles en diferentes variantes.

WinCC flexible es compatible con PROFINET, el innovador estándar para la comunicación industrial desde el nivel de campo hasta el de gestión corporativa.

El *software* de ingeniería está basado en la tecnología de *software* más moderna (Microsoft.NET), el cuál contiene una serie de editores y herramientas que permite realizar diversas tareas de configuración especialmente gráficas.



Para la configuración de imágenes pueden usarse una serie de cómodas funciones, como por ejemplo, ampliar/reducir, rotar y alinear, permitiendo adaptar el entorno de trabajo a las necesidades del operador. Adicionalmente el *software* nos proporciona las siguientes funciones:

- La ventana del proyecto, que muestra la estructura del proyecto permitiéndonos su administración.
- La caja de herramientas, que no es más que una librería de objetos.
- La ventana de objetos, en la que pueden seleccionarse objetos ya creados.
- El área de trabajo, en la que pueden crearse las imágenes (presentación y animación).
- La ventana de propiedades, para la parametrización de los objetos del área de trabajo.

WinCC flexible ofrece toda una serie de herramientas inteligentes para una configuración eficiente del proyecto a realizar, por ejemplo, como lo muestra la figura 4.12, con el este asistente se puede crear un proyecto básico con navegación e imágenes del sistema, sin necesidad de introducir muchos datos.

En diversos cuadros de diálogo se guía al usuario para seleccionar los objetos necesarios, y posteriormente crear el proyecto pulsando únicamente un botón.

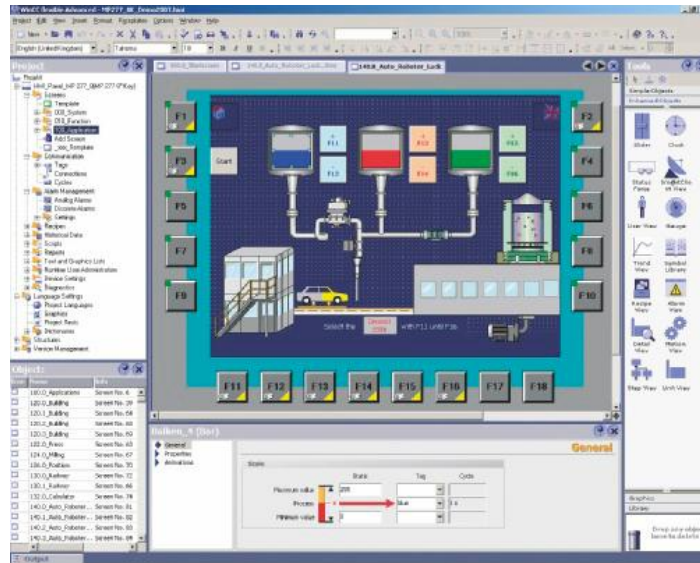


Figura 4.12. Asistente de Proyectos del WinCC flexible.

Fuente: http://www.automation.siemens.com/salesmaterialas/brochure/es/brochure_simatic-wincc-flexible_es.pdf

Es posible gestionar los proyectos de WinCC flexible dentro de STEP 7 que es el software estándar para configurar y programar los sistemas de automatización SIMATIC, mediante la integración en la interfaz de configuración de SIMATIC STEP 7 y utilizar conjuntamente los ajustes de comunicación, variables y avisos.

Las posibilidades de manejo y visualización de que dispone el operador de una máquina o proceso dependen del modo en el que se haya creado el proyecto y de las funcionalidades que nos proporcione el panel de mando utilizado. Estas funcionalidades se encuentran a disposición del operador en la interfaz de usuario utilizando una amplia gama de objetos gráficos configurados. Dependiendo del panel de mando, WinCC flexible *RUNTIME* que es una interfaz de usuario compatible con Windows, compuesta de objetos gráficos parametrizables y de bloques tecnológicos para su fácil y clara visualización, se puede utilizar mediante un teclado, un ratón o bien mediante una pantalla táctil.

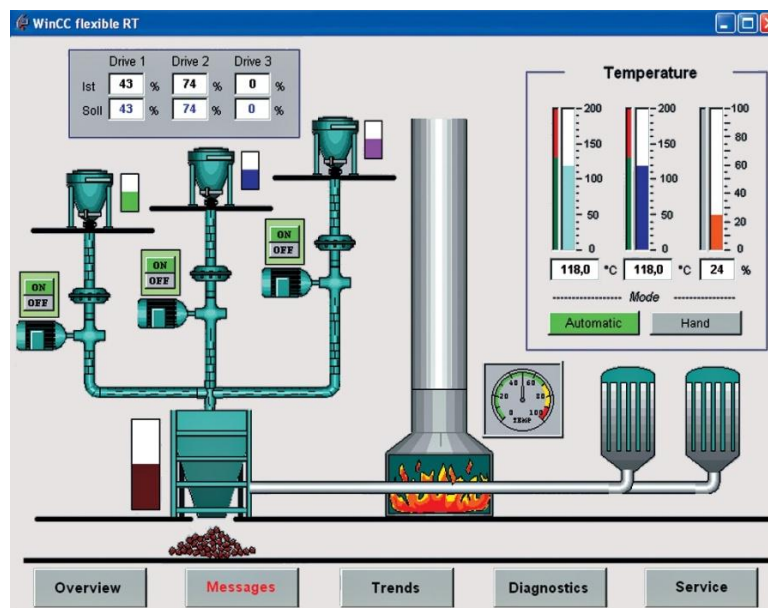


Figura 4.13. Ejemplo de una Interfaz de usuario mediante el software RUNTIME.

Fuente: <http://www.automation.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/visualization-software/wincc-flexible/wincc-flexible-runtime/user-interface/Pages/Default.aspx>.

4.3. REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL:

4.3.1. Introducción:

Las comunicaciones industriales son un elemento de vital importancia en la automatización de procesos industriales, tanto a nivel de campo, control y supervisión, como a nivel de planificación y de empresa.

Hasta los años 60, el control industrial se venía realizando mediante lógica cableada a bases de relés electromagnéticos. El desarrollo de la electrónica ha hecho posible la aparición de los autómatas programables, en donde en su primera etapa, todas las señales de control de un sistema se guiaban mediante cables entre la maquina y el armario donde se localizaban los componentes de mando. Este tipo de control tal como lo muestra la figura

4.14 se lo conoce como Control Centralizado, en donde toda la información y las órdenes tienen un punto focal único.

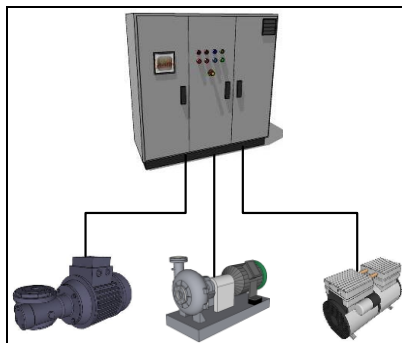


Figura 4.14. Ejemplo de un Control Centralizado.

Con la aparición de los autómatas programables se redujo considerablemente la cantidad de elementos y material necesario para conseguir controlar una maquina, los controles se programan en su interior y las modificaciones de funcionamiento no significan cambios físicos y, además, el tiempo necesario para el mantenimiento se reduce.

Las señales entre periferia y control, inicialmente de tipo analógico y de punto a punto, gracias al desarrollo de la electrónica digital y el auge de los microprocesadores, se convierten, dentro del mismo elemento de campo, en un conjunto de señales capaces de transportar esta información mediante un único medio de transmisión (bus de campo) gracias a un protocolo de comunicación, y que permite que esa señal pueda hacerse llegar donde se la requiera.

La posibilidad de conectar los autómatas entre sí permitió eliminar casi todo el cableado de control entre maquinas, quedando solamente una línea de comunicación entre ellas, a través de la cual se podía coordinar el funcionamiento de todos los componentes del sistema.

Otra de las ventajas fue la posibilidad de la programación a distancia, supervisión remota, diagnósticos de todos los elementos conectados, modularidad, acceso a la información de forma prácticamente instantánea, etc.

Estas líneas de comunicación son lo que llamamos buses de campo. Permiten unir todos los elementos de control necesarios de forma que puedan intercambiar información entre ellos.

Esta idea se conoce como Control Distribuido (figura 4.15); en donde un sistema complejo se divide en subsistemas autónomos con control propio, que se integran gracias a un sistema de comunicaciones común.

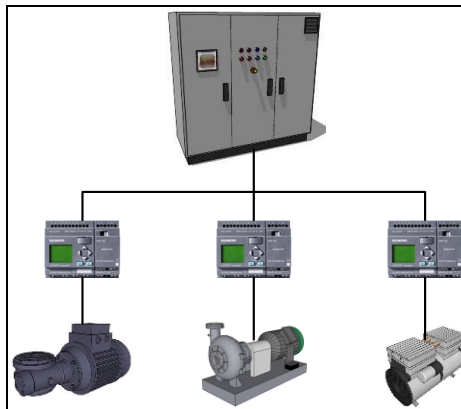


Figura 4.15. Ejemplo de un Control Distribuido.

4.3.2. Sistemas de Transmisión de la Señal:

4.3.2.1. Niveles de Tensión:

Las conexiones físicas en el entorno industrial se realizan mediante interfaces serie, normalizados por la Asociación de Industrias Electrónicas de los Estados Unidos (EIA).



Estos estándares determinan las características del soporte de comunicación y como debe ser la señal eléctrica. Los estándares más conocidos son:

- RS-232C.
- RS-422A.
- RS-485.

La transmisión por señales de tensión no es recomendable en distancias importantes, debido a la caída de tensión que se pueden presentar en las líneas de transporte.

RS-232C:

Esta norma define la interconexión serie entre un dispositivo transmisor de datos (DCE, *Data Communication Equipment*) y un receptor de datos (DTE, *Data Terminal Equipment*).

En esta tecnología, los niveles binarios de la señal se indican mediante niveles de tensión, positiva y negativa, respecto del punto de potencial común (+10V, -10V).

Orientado a conexiones punto a punto, se introdujo en el entorno industrial para la comunicación entre captadores y sistemas de adquisición de datos, sistemas de codificación, etc. El principal inconveniente es que tiene limitaciones de velocidad y distancia de transmisión.

RS-422A:

Se basa en la transmisión de señales de tensión diferenciales mediante dos hilos, sin punto de referencia. Los unos y ceros se transmiten de forma de diferencia de tensión entre los dos conductores del circuito, presentando una gran inmunidad al ruido eléctrico y permitiendo una mayor distancia entre conexiones.



RS-485:

Es una evolución del RS-422. Permite conectar hasta 32 dispositivos en un solo tramo de cable, con una longitud máxima del tramo de 50m, pudiendo incrementarse a 10.000m mediante repetidores de señal.

Este sistema de transmisión es uno de los más extendidos en la comunicación industrial, siendo Profibus el máximo exponente de este estándar.

A continuación en la tabla 4.1 se resumen los distintos tipos de sistemas de transmisión de señales y sus principales características:

Tabla 4.1: Resumen de Niveles de Tensión

SISTEMA	SEÑAL	ELEMENTOS	DISTANCIA (m)	VELOCIDAD (Kbps)
RS-232	Asimétrica	1	15	20
RS-422	Simétrica	10	1200	10.000
RS-485	Simétrica	32	50	10.000

4.3.2.2. Bucle de Corriente:

En esta tecnología, los diferentes niveles lógicos se indican mediante niveles de corriente en la línea de transmisión (4mA a 20mA). La principal fortaleza de este sistema, es que permite la transmisión de señales analógicas a gran distancia sin pérdida o modificación de la señal.

Es más robusto ante interferencias eléctricas que el método basado en niveles de tensión. La transmisión de corriente permite utilizar el mismo cable para transmitir potencia a los dispositivos (alimentación).

Para realizar el bucle de 4-20mA se necesitan por lo menos 4 elementos:



- El emisor.
- La alimentación del bucle.
- El cable.
- El receptor.

La alimentación de la red proviene de una fuente de 10-30VDC. El transductor de campo controla el flujo de corriente. El paso de corriente a tensión es sencillo, se lo hace mediante una resistencia de 100Ω (ohmios) para obtener los niveles de tensión equivalentes. Su aislamiento galvánico se lo realiza mediante optoacopladores.

Las principales ventajas de este tipo de sistema son:

- Transmisión a largas distancias.
- Detección de fallos de sensores.
- Red económica (2 hilos).
- Alta inmunidad a interferencias electromagnéticas.

4.3.3. Protocolos de Comunicación:

Una vez definido el soporte físico y las características de la señal a transmitir, hay que determinar la forma en la cual se va a realizar el intercambio de información (sincronización entre los extremos de línea, detección y corrección de errores, gestión de enlaces de comunicación, etc.).

El protocolo de comunicación engloba todas las reglas y convenciones que deben seguir dos equipos cualesquiera para poder intercambiar información.

El objetivo de cualquier protocolo de comunicación es poder conectar y mantener el dialogo entre 2 Equipos Terminales de Datos, permitiendo que la información pueda fluir entre ambos con seguridad.



La estandarización es un punto de conflicto entre intereses técnicos y comerciales, pues cada fabricante realiza sus investigaciones encaminadas a que sus equipos cubran determinadas necesidades y, por supuesto, después pretende que estas utilidades se conviertan en estándar ya que son las mejores soluciones del mercado. Por ejemplo, Siemens dispone las siguientes tecnologías de comunicación:

- **Ethernet:** Orientado a la comunicación entre ordenadores y acceso a Internet.
- **Profinet/Profibus:** Permite la comunicación entre PLC y una PC, así como entre PLC y periferia descentralizada.
- **AS-i:** Establece la comunicación entre dispositivos de entrada/salida digitales y analógicos con un PLC.

No hay un bus mejor que el otro, sino que, dependiendo de la aplicación, hay unos buses más adecuados que otros.

A la hora de seleccionar uno u otro bus, deberán tenerse en cuenta algunos de los siguientes aspectos:

- Costo por nodo de bus.
- Costo de programación o desarrollo.
- Tiempo de respuesta.
- Fiabilidad.
- Robustez.
- Modos de funcionamiento (Maestro-Esclavo, acceso remoto).
- Medios físicos (cable, fibra óptica, radio).
- Topologías permitidas.
- Gestión.
- Interfases de usuario.



4.3.4. Topología de Redes:

La topología define la posición de los equipos alrededor del medio de transmisión de datos, determinando ciertas estructuras de red características:

4.3.4.1. Redes Centralizadas (*Clustered Systems*):

Todos los equipos dependen de un equipo central (*Host*) que controla todo el sistema.

El fallo de un terminal no afecta el funcionamiento de la red, pero si el fallo es en el *Host*, se paraliza todo.

4.3.4.2. Redes Distribuidas (*Distributed Systems*):

En este tipo de red, los equipos pueden ser maquinas sencillas que comparten las cargas de trabajo, los recursos y comunicaciones.

El fallo de un terminal no afecta al resto de equipos. En este tipo de redes hay varias configuraciones básicas:

- Anillo.
- Estrella.
- Bus.
- Árbol.
- Red.

Anillo: Tal como lo muestra la figura 4.16, el medio de transmisión forma un circuito cerrado al que se conectan los equipos.

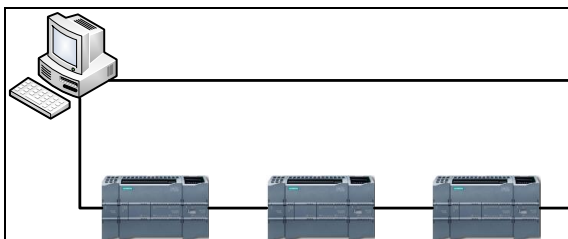


Figura 4.16. Topología en anillo.

Características:

- Conexiones punto a punto entre estaciones.
- El modo de transmisión se organiza por turnos mediante el paso de un permiso de transmisión de una estación a otra.
- El tráfico de información va en sentido único.
- La señal se regenera en cada nodo.
- No permite la ampliación en funcionamiento.
- En este tipo de redes está muy extendido el uso de fibra óptica.

Puntos débiles:

- El fallo de un equipo interrumpe el tráfico de la información.
- Diagnostico difícil debido al sentido único de flujo de información.
- Añadir o quitar nodos afecta a la red.

Estrella: Como lo indica la figura 4.17, todos los elementos están conectados a un equipo o nodo central (HUB, *Host Unit Broadcast*) que realiza las funciones de control y coordinación.

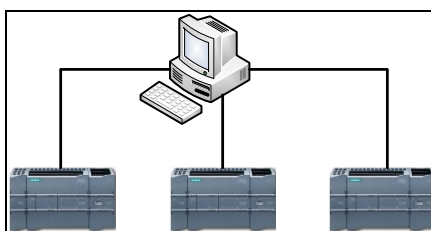


Figura 4.17. Topología en estrella.

Características:

- La transferencia de información es punto a punto.
- El equipo central controla toda la red.
- La falla de un equipo no afectara al resto.
- Si el equipo central se para, la red queda inutilizada.
- La ampliación del sistema está determinada por la capacidad del nodo central.

Bus: La figura 4.18 nos da un ejemplo de este tipo de configuración en donde la distribución básica se realiza alrededor de un segmento de cable al cual se conectan los equipos. El modo de transmisión es aleatorio, es decir, un equipo transmite cuando lo necesita. Si hay transmisiones simultaneas, algoritmos especiales solucionan el problema.

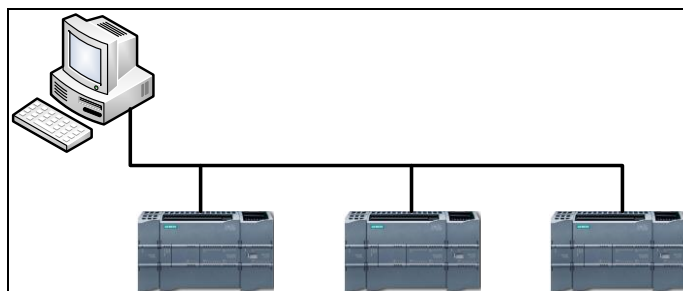


Figura 4.18. Topología en bus.

Características:

- Las conexiones de alta impedancia permiten conectar y desconectar elementos de forma sencilla, por lo tanto, el fallo de un equipo no afecta al resto de la red.
- Elevada velocidad de transmisión.
- La comunicación es multipunto.
- Ampliación sencilla.
- Opción más extendida actualmente en buses de campo.

Puntos débiles:

- Falta de seguridad, pues cualquier nodo puede ver cualquier mensaje.
- El diagnostico de fallos puede ser difícil debido a la estructura física, ya que un fallo eléctrico puede estar en cualquier punto del bus.
- No hay reconocimiento de mensajes automático.
- En caso de sobrecarga de tráfico puede bajar el rendimiento.

Árbol: Es una mezcla de las características de las tres topologías anteriores. Esta topología se ejemplifica en la figura 4.19.

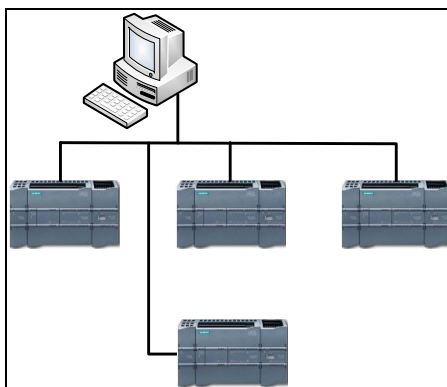


Figura 4.19. Topología en árbol.

Red: La figura 4.20 nos permite apreciar un ejemplo de esta configuración, la misma que permite la conexión entre dos estaciones a través de múltiples caminos.

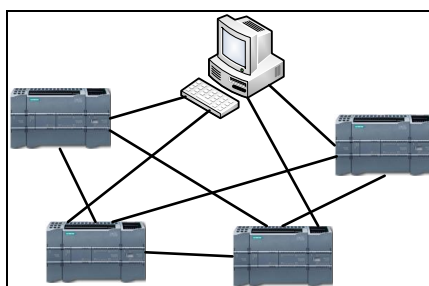


Figura 4.20. Topología en Red.



Características:

- Fiabilidad y tolerancia a fallos. El fallo de una línea de transmisión se solventa redirigiendo el tráfico por otro camino.
- No utilizado en buses de campo.

A escala industrial, las topologías más extendidas son las de bus y anillo, debido a su robustez ante fallos, velocidad de transmisión y sencillez de ampliación.

4.3.5. Relaciones entre Estaciones:

Las relaciones entre los nodos de red estarán determinadas por el protocolo que utilicen. Será en función de la forma en la cual se gestione la información, o en el tipo de relación que mantendrán con los otros nodos.

4.3.5.1. Modos de Comunicación:

Los diversos modos de comunicación permiten estructurar las diferentes estrategias de intercambio de información. Se pueden dividir en dos categorías:

- Punto a Punto.
- Productor-Consumidor.

Comunicación Punto a Punto:

La comunicación punto a punto consiste en enviar la información tantas veces como sea necesario para que llegue a todos los destinatarios. Este concepto emplea más ancho de banda del realmente necesario, además los mensajes llegan en intervalos de tiempo diferentes.



Puntos débiles:

- Exceso de producción, hay nodos de red que pueden no necesitar los datos en un momento dado.
- Inexactitud, pues los datos se transmiten durante varios ciclos de bus.
- Falta de determinismo, debido a la cantidad de nodos presentes.

Comunicación Productor-Consumidor:

En este tipo de comunicación el dato generado se coloca en el bus con una etiqueta única y es accesible por cualquier nodo que lo necesite, permitiendo, además, el acceso simultáneo.

Características:

- Economiza recursos de transmisión al no enviar información innecesaria.
- Sincroniza los destinatarios, pues todos reciben los datos al mismo tiempo.
- El tiempo necesario para transmitir no varía con el número de destinatarios.

4.3.5.2. Formas de Organización de Nodos:

Los nodos de una red pueden clasificarse también en la forma que ellos gestionan la información en relación a otros nodos. La más utilizada dentro del ámbito de las comunicaciones industriales es la relación Maestros-Eslavos.



4.3.5.2.1. Maestro-Esclavo:

Al organizar las comunicaciones, generalmente se establece una jerarquía entre los equipos, en la que uno de ellos tiene el control de las comunicaciones de forma temporal o permanente. Esta jerarquía se la conoce como relación Maestro-Esclavo.

En el entorno industrial, el maestro es un autómatas que puede leer o escribir sobre los esclavos de la red que controla, mientras que el esclavo recibe los mensajes enviados por el maestro y emite hacia este cuando le llega la orden de hacerlo. Dentro de los esclavos se clasifican en dos categorías:

Esclavos Activos: Son equipos como un PLC que recibe órdenes y ejecuta un programa propio.

Esclavos Pasivos: Se comportan como terminales que no ejecutan programa alguno y realizan la función de entradas-salidas remotas del autómatas maestro.

4.3.6. La Pirámide de las Comunicaciones:

La denominada Pirámide de las Comunicaciones, intenta resumir tal como lo plantea la figura 4.21, la estructuración de las redes de comunicación de datos en un entorno productivo que deben cumplir ciertas exigencias funcionales requeridas. Se divide en niveles, de acuerdo con el tráfico y tipo de información que se debe gestionar. Los niveles de la Pirámide de las Comunicaciones son los siguientes:

- Nivel de Oficina.
- Nivel de Planta.
- Nivel de Célula.
- Nivel de Campo.

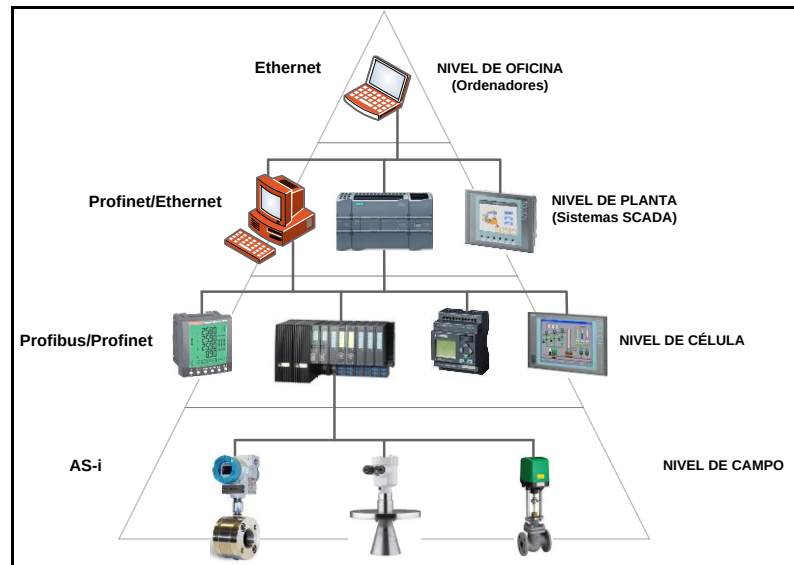


Figura 4.21. Pirámide de las Comunicaciones.

4.3.6.1. Nivel de Oficina:

Procesa tareas de tipo corporativo que implican generalmente grandes cantidades de información (administración). Se puede acceder a todos los puntos de la red para, por ejemplo, recoger datos de proceso y transmitir nuevas consignas de producción. Puede haber cientos de estaciones o puestos de trabajo. Los equipos que aparecen en este nivel son ordenadores personales, mini computadores y grandes equipos informáticos. Desde aquí se accede al exterior mediante redes WAN.

4.3.6.2. Nivel de Planta:

Procesa las tareas de automatización. Aquí aparecen los autómatas, ordenadores y equipos de visualización. La transferencia de información es considerable, aumentando el tamaño de los paquetes de información y el tiempo de tránsito necesario para su transmisión.

4.3.6.3. Nivel de Célula:

Comprenden todos los componentes inteligentes que intervienen en el proceso.



4.3.6.4. Nivel de Campo:

En cualquier aplicación automatizada tenemos multitud de elementos que requieren uno o algunos bits de información (de entrada o salida) para trabajar (pulsadores, sensores, selectores, pilotos). Esta característica es la que define el nivel de Campo (pocos bits) dentro de un sistema automatizado.

Este nivel es el peldaño más bajo dentro de la jerarquía de los sistemas automatizados. Trabaja con poca información y su gestión es relativamente sencilla.

4.3.7 Tipos de Redes de Comunicación Industrial:

4.3.7.1 Red de Comunicación Industrial AS-i:

El AS-Interface (bus AS-i) está determinado como un sistema de enlace para el Nivel de Campo de un proceso que cumple con todos los requerimientos que debe tener un bus de comunicación industrial.

El AS-i, como un bus de Campo presenta las siguientes características básicas:

- Adecuado para la conexión en red de sensores y actuadores.
- Cableado sencillo y económico.
- Rapidez y seguridad en el intercambio de datos.
- Permite transportar los datos y energía para alimentar a los sensores y actuadores por un mismo cable.
- En caso de fallos, los tiempos de parada por reparación o mantenimientos son muy pequeños debido al intercambio de módulos sin necesidad de reconfiguración.



Principales datos técnicos:

En la tabla 4.2 se exponen con claridad los principales datos técnicos y ventajas que nos brinda la red de comunicaciones AS-i:

Tabla 4.2. DATOS TÉCNICOS DE LA RED DE CAMPO AS-i.

Método de Acceso	Maestro-Esclavo
Tiempo de Ciclo	Máximo 5/10 ms (31/62 esclavos)
Medio de transmisión	Cable de 2 hilos sin pantalla con protección contra cambio de polaridad. Datos y Energía por el mismo cable.
Número máximo de Esclavos	62 Esclavos
Extensión de la red	Máximo 300 metros.
Topología	Árbol y Estrella.
Aplicación	Comunicación a nivel de Campo.

4.3.7.2 Red de Comunicación Industrial Profibus:

La Red de Campo abierto Profibus fue creada con la finalidad de incorporar en una misma red elementos y dispositivos de automatización de diferentes fabricantes. Existen 3 perfiles distintos de Profibus:

Profibus FMS (*Field Message Specification*):

Permite la transferencia de un gran volumen de datos entre diferentes dispositivos conectados a una misma red. Basado en una estructura Cliente-Servidor.

Profibus DP (*Distributed Peripheral*):

Utilizada para el intercambio a gran velocidad de un volumen menor de datos entre un dispositivo Maestro (controlador) y distintos Esclavos (autómatas programables, módulos de E/S, paneles de visualización, etc.) conectados a una misma red de comunicaciones. Este es el perfil más

adecuado para trabajar a Nivel de Campo. Se rige bajo las especificaciones de la norma RS-485. Los equipos que intervienen en esta red son:

- Maestros.
- Esclavos inteligentes.
- Esclavos pasivos.
- Cables y conectores.

Las principales características de la red Profibus DP se enlistan en la tabla 4.3:

Tabla 4.3. DATOS TÉCNICOS DE LA RED PROFIBUS DP.

Método de Acceso	Maestro-Eslavo
Velocidad de Transmisión	9,6 Kbps-12 Mbps
Tiempo de Ciclo	5-10 ms
Volumen de Datos	Hasta 246 bytes
Medio de Transmisión	Cable de 2 hilos apantallado
Máximo número de Nodos	32 estaciones de segmento. Máximo 127.
Tamaño de la Red	Máximo 9,6 Km.
Topologías	Bus, árbol, Estrella, Anillo.
Aplicaciones	Comunicación de proceso, campo o datos.

Profibus PA (*Process Automation*): Diseñado para el control de procesos de zonas denominadas “EX”, o de seguridad intrínseca. Además de estos perfiles, SIEMENS ofrece otros dos tipos que son validos únicamente con sus productos, dichos perfiles son:

Enlaces S7: Aplicados a la configuración de redes con equipos de la gama S7 de Siemens.

Profibus FDL: Aplicados a la configuración de redes con equipos de la gama S7 y S5 de Siemens.



4.3.7.3 Red de Comunicación Industrial Ethernet:

Industrial Ethernet está diseñado para brindar soluciones eficientes de automatización en el ámbito industrial utilizando potentes redes de comunicación de gran extensión. Posee importantes ventajas, como una gran rapidez de conexión y acceso a la red proporcionando elevadas velocidades de transferencia de datos. SIEMENS ha puesto en el mercado una red de comunicaciones con tecnología Ethernet denominada SIMATIC NET. Para el intercambio de datos entre PLC's, o entre un PLC y otras estaciones como por ejemplo un ordenador, dispone de algunas funciones de comunicación, pero la más importante es PROFINET, basado en Industrial Ethernet, que permite la comunicación directa entre equipos de campo y controladores.

4.3.7.4 Red de Comunicación Industrial Profinet:

Profinet es la evolución e integración de Profibus DP y de Industrial Ethernet. Al ser este un estándar abierto para la automatización industrial, se pretende con su utilización integrar directamente los sistemas con bus de Campo. SIEMENS también ofrece Profinet, en donde la comunicación entre PLC y los instrumentos de campo se lo realiza con PROFINET IO, que es una combinación de las características del Profibus y Ethernet. La familia de productos SIMATIC disponen de interfaces Profinet con y sin *switch* integrado. Ofrece la posibilidad de integrar buses de Campo existentes, como por ejemplo: Profibus, AS-i, etc. Siempre que sea posible, montar el sistema Profinet con una topología en estrella para optimizar sus recursos y prestaciones.

CAPITULO 5

DISEÑO DEL SISTEMA SCADA

5.1 DISEÑO DEL SISTEMA SCADA PARA EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA:

5.1.1. Instrumentación para medición de los parámetros en los Transformadores:

Para realizar la medición de los parámetros fundamentales en los transformadores TR3, TR4, TR5 y TR9 de tal manera que los valores se puedan visualizar en el monitor principal y paralelamente se genere una base de datos, se recomienda utilizar el equipo SENTRON PAC 3200 (Figura 5.1), el cual es un producto de la marca SIEMENS.



Figura 5.1. SENTRON PAC 3200.

Fuente: www.nme.siemens.com.

Las características que posee este equipo son las siguientes:

El SENTRON PAC3200 es un multímetro tipo central de medida para la visualización de todos los parámetros de red relevantes en la distribución de energía eléctrica en baja tensión tales como tensiones, intensidades de la(s)



corriente(s), potencias, valores de la energía eléctrica, frecuencia, factor de potencia, simetría y THD (*Third Harmonic Distortion* / distorsión de tercera armónica).

Para las magnitudes de medición no sólo se capta el valor de medición actual sino también el mínimo y el máximo (función agujas de arrastre).

También se puede realizar mediciones monofásicas, bifásicas y trifásicas, y puede utilizarse en redes (sistemas) en esquema TN, TT e IT de dos, tres o cuatro conductores.

Gracias a su amplio rango de tensión medida, el SENTRON PAC3200 con fuente de alimentación multirango puede conectarse directamente a cualquier red de baja tensión con una tensión nominal de hasta 690 V (máx. 600 V para UL).

Como equipamiento estándar, el multimedidor SENTRON PAC3200 posee una interfaz Ethernet a una velocidad de 10 Mbit/s y, por lo tanto, no requiere hardware adicional. Además se puede adquirir los módulos de expansión SENTRON PAC PROFIBUS DP para la transmisión de datos por medio de Profibus DP con velocidades de transferencia de hasta 12 Mbit/s y SENTRON PAC RS 485 para la transmisión de datos por medio de MODBUS RTU y SEAbus con velocidades de transferencia de hasta 38,4 kBd.

Para realizar la conexión de los transformadores con el SENTRON PAC 3200 se requiere de transformadores de instrumentos como son los transformadores de corriente y transformadores de tensión.

Para el presente proyecto se necesita de 3 transformadores de corriente por cada transformador a ser medido.

En la figura 5.2 se presenta el diagrama de conexión de las borneras del equipo con la red a medir.

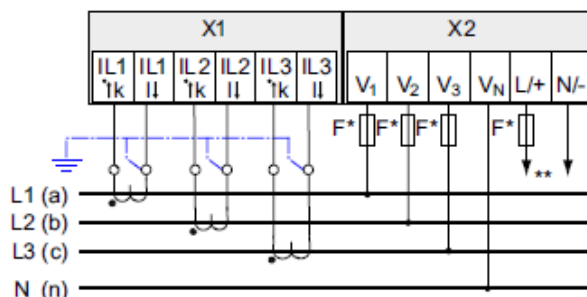


Figura 5.2. Tipo de conexión 3P4W, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente.

Fuente: <http://www.caroligualada.es/Documentos/manual%20sentron.pdf>

5.1.1.1. Transformadores de instrumentos para conexión del equipo SENTRON PAC 3200:

Para el transformador TR3 los datos de placa se muestran en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. DATOS DE PLACA DEL TRANSFORMADOR TR3

POTENCIA APARENTE	200 KVA
PRIMARIO	440V – 262 A
SECUNDARIO	440V – 262 A
FRECUENCIA	60 HZ

Para este transformador se necesita los transformadores de corriente (Figura 5.3) con las características que se especifican en la tabla 5.2.



Figura 5.3. Transformador de corriente para TR3.

Fuente: <https://support.automation.siemens.com>.

Tabla 5.2. DETALLES TÉCNICOS DE TC PARA TR3.

Detalles técnicos generales	
Designación del producto	Transformador de intensidad.
Clase de precisión del transformador	Clase 1
Valor nominal corriente de entrada	300 A
Valor nominal corriente de salida	5 A
Valor nominal potencia aparente de servicio	5 VA
Temperatura de operación	-10°C ... 55°C
Frecuencia	60 Hz

Para el transformador TR4 los datos de placa se muestran en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. DATOS DE PLACA DEL TRANSFORMADOR TR4

POTENCIA APARENTE	200 KVA
PRIMARIO	440V – 262 A
SECUNDARIO	220V – 525 A
FRECUENCIA	60 HZ

Para este transformador se necesita los transformadores de corriente (Figura 5.4) con las características que se especifican en la tabla 5.4.



Figura 5.4. Transformador de corriente para TR4

Fuente: <https://support.automation.siemens.com>.

Tabla 5.4. DETALLES TÉCNICOS DE TC PARA TR4.

Detalles técnicos generales	
Designación del producto	Transformador de intensidad.
Clase de precisión del transformador	Clase 1
Valor nominal corriente de entrada	600 A
Valor nominal corriente de salida	5 A
Valor nominal potencia aparente de servicio	5 VA
Temperatura de operación	-10°C ... 55°C
Frecuencia	60 Hz

Los datos de placa del transformador TR5 se muestran en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. DATOS DE PLACA DEL TRANSFORMADOR TR5.

POTENCIA APARENTE	1250 KVA
PRIMARIO	440V – 1640 A
SECUNDARIO	6.3KV – 114.6 A
FRECUENCIA	60 HZ

Para el transformador TR-5 se necesita los transformadores de corriente (Figura 5.5) con las características que se especifican en la tabla 5.6.



FIGURA 5.5. Transformador de corriente para TR5.

Fuente: <https://support.automation.siemens.com>

Tabla 5.6. DETALLES TÉCNICOS DE TC PARA TR5.

Detalles técnicos generales	
Designación del producto	Transformador de intensidad.
Clase de precisión del transformador	Clase 0.5
Valor nominal corriente de entrada	2000 A
Valor nominal corriente de salida	5 A
Valor nominal potencia aparente de servicio	20 VA
Temperatura de operación	-10°C ... 75°C
Frecuencia	60 Hz

El transformador TR9 consta con los datos de placa que se muestran en la tabla 5.7.

Tabla 5.7. DATOS DE PLACA DEL TRANSFORMADOR TR9

POTENCIA APARENTE	350 KVA
PRIMARIO	6.3KV – 32 A
SECUNDARIO	440V – 460 A
FRECUENCIA	60 HZ

Para este transformador se necesita los transformadores de corriente (Figura 5.6) con las características que se presentan en la tabla 5.8.



Figura 5.6. Transformador de corriente para TR9

Fuente: <https://support.automation.siemens.com>.

Tabla 5.8. DETALLES TÉCNICOS DE TC PARA TR9.

Detalles técnicos generales	
Designación del producto	Transformador de intensidad.
Clase de precisión del transformador	Clase 1
Valor nominal corriente de entrada	500 A
Valor nominal corriente de salida	5 A
Valor nominal potencia aparente de servicio	10 VA
Temperatura de operación	-10°C ... 55°C
Frecuencia	60 Hz

5.1.2. Señalización de los seccionadores:

Este elemento en el sistema Scada es de gran importancia para el proceso de distribución de la energía eléctrica, ya que permitirá al operador verificar si se ha producido una desconexión de alguna de las fases de la línea de alta tensión de la acometida principal, o si se ha logrado con éxito la interrupción de la alimentación de los transformadores de potencia y así poder actuar sobre ellos.

Es por esto que se realizará la señalización del estado operativo de los seccionadores fusibles principales que permiten las acciones de corte y maniobra de la alimentación de los transformadores TR-1, TR-2, TR-9, TR-10, TR-11, TR-12.



Esto se lo realizará conectando el PLC con los contactos auxiliares del relé número 86, que es un relé del tipo electromecánico y se energiza cuando operen los relés principales de protección. Es decir se usa como un relé auxiliar para controlar el disparo y bloqueo del seccionador fusible.

Los elementos que se encuentran en coordinación con el relé 86 son el relé 51(relé de sobrecorriente), el relé 51G (relé de sobrecorriente de tierra), el relé 97(relé Buchholz), 26(termómetro para la temperatura del aceite) y 99 (indicador mínimo del nivel de aceite del transformador).

Las señales que se enviarán al PLC son del tipo ON-OFF, es decir señales de entrada digitales.

5.2. DISEÑO DEL SISTEMA SCADA PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA TRATADA:

5.2.1. Instrumentación para medir el caudal de ingreso a la planta:

Es de gran importancia medir el caudal de ingreso a la planta de fuerza, ya que paralelamente se realizará el control del caudal de ingreso. Los datos relevantes en esta sección son el diámetro de la tubería de 80 cm (32"), el caudal máximo registrado de 310 m³/h y además se debe tener presente que por la tubería circulan aguas residuales.

La distancia que existe desde la bocatoma hasta el interior de la planta de fuerza es de aproximadamente 500m en línea de vista.

Solución numero 1:

Para llevar ésta señal hasta el cuarto de control se recomienda utilizar el Sensor MAGFLO MAG 5100W (Figura 5.7), el cual tiene las siguientes características:



Figura 5.7. El sensor electromagnético SITRANS F M MAGFLO MAG 5100 W.

Fuente: http://www.sargent.biz/pdf/producto495_MAGFLO%205100W.pdf

Este sensor de flujo electromagnético se utiliza en los sectores de toma de agua, tratamiento de agua, redes de distribución de agua (gestión de reconocimiento de fugas), contadores de agua para transacciones con verificación obligatoria, riego, tratamiento de aguas residuales, instalaciones de filtración, aplicaciones de aguas industriales.

El principio de la medida de caudales se basa en la ley de inducción electromagnética de Faraday, según la cual el sensor de medida convierte el caudal en un voltaje eléctrico proporcional a la velocidad de flujo.

El flexible concepto de comunicación USM II permite integrar y actualizarlo con gran facilidad para un sinnúmero de sistemas de buses de comunicación industriales, por ejemplo, HART, PROFIBUS DP & PA, MODBUS RTU/RS485.

Solución número 2:

Con el objetivo de reducir costos en el proceso de medición del caudal de ingreso se propone realizar la construcción de un canal en la entrada de la piscina de tal manera el agua entre en forma de vertedero y se pueda

utilizar el medidor de caudal OCM III el cual es de la marca SIEMENS (Figura 5.8).



Figura 5.8. Medidor de caudal OCM III.

Fuente: <http://www.dastecsrl.com.ar/img/productos/bic2.jpg>

Este medidor cuenta con las siguientes características:

El OCM-3 de Milltronics u Open Channel Meter (Medidor en Canal Abierto), es un instrumento electrónico diseñado para medir caudal en canales abiertos.

El sistema consiste en una unidad principal alojada en una caja de policarbonato, con un calibrador extraíble.

El OCM-3 funciona con un transductor ultrasónico (o sistema de medición auxiliar) y un sensor de temperatura.

El OCM-3 transmite una señal de impulsos al sensor. Esta señal es emitida como un impulso ultrasónico.

Los impulsos son reflejados por la superficie del agua y detectados por el transductor.



El tiempo entre la emisión de este impulso y su reflexión es compensado en temperatura y convertido en una medición de nivel.

El OCM-3 convierte la medida de nivel en caudal, pero tiene una entrada de sensor de velocidad para aplicaciones en las que se necesita medir la velocidad para calcular el caudal.

El *data logger* (sistema de adquisición de datos) totaliza y memoriza el caudal, proporcionando un análisis detallado.

La programación del OCM-3 permite seleccionar el cálculo de caudal específico para el dispositivo de medición principal (esclusa, acequia o tubería). El sistema está diseñado para proporcionar cálculos precisos de caudal.

Los programas propios del equipo calculan los factores de corrección, pero consideran los efectos secundarios, como por ejemplo la velocidad de acceso y la tensión en la superficie.

Si resulta posible efectuar la medida del caudal con una de las fórmulas proporcionadas por el OCM-3, se puede programar la unidad para una medición del caudal con cualquiera de los métodos de cálculo universales.

El OCM-3 proporciona comunicación en serie para programación remota, copia e impresión del data logger para todo tipo de sistemas, como por ejemplo PLC's e impresoras. Las especificaciones técnicas del OCM-3 se presentan en la tabla 5.9.

Tabla 5.9. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MEDIDOR OCM-3.

Alimentación:	DC 9 a 30 V DC, 8 W máx. AC 100/115/200/230 VAC $\pm 15\%$, 50/60 Hz, 20 VA máx.
Condiciones ambientales:	Ubicación : interior / exterior Temperatura ambiente: 20 a +50 °C (.5 a +122 °F) Humedad relativa : apropiado para instalación exterior Categoría de instalación: II Grado de contaminación : 4
Salidas:	1 de corriente (0/4-20 mA.), 1 digital (<10KHz), 1 de relé (ó una salida digital)
Precisión:	$\pm 1\text{mm/m}$, error calculado < 0,02%
Compensación de temperatura:	El sensor de temperatura externo para compensación sobre el rango de temperatura durante la operación
Calibración:	Mediante el programador y el enlace de comunicación
Entradas:	Sensor de velocidad y altura auxiliar Rango: 0 a 10 V DC Resolución: 2.7 mV
Salidas:	Transductor: 44 KHz, pulsos de 400 Vpp de pico, duración típica de 0.1msec, velocidad de repetición 100 msec Analógica: Rango: 0-20 ó 4-20 mA. Resolución: 5 μA Máxima carga: 1Ohm Aislamiento: 300 VAC, continua Relés: 3 relés de control / alarma 1 contacto inversor (SPDT) por relé, capacidad nominal 5A, 250 VAC ó 30 VDC, carga óhmica Salida dc: +24 V dc Promedio de 20 mA. a 200 mA., 1/10 ciclo máx.
Comunicación:	RS-232 ó bucle de corriente bipolar ± 20 mA, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 ó 19200 baudios

5.2.1.1. Control del caudal de ingreso de agua a la planta:

Una vez que se ha escogido la instrumentación para leer la señal del caudal de ingreso a la bocatoma, se procede a realizar el diagrama de flujo del programa (Figura 5.9), que deberá ser ejecutado por el PLC:

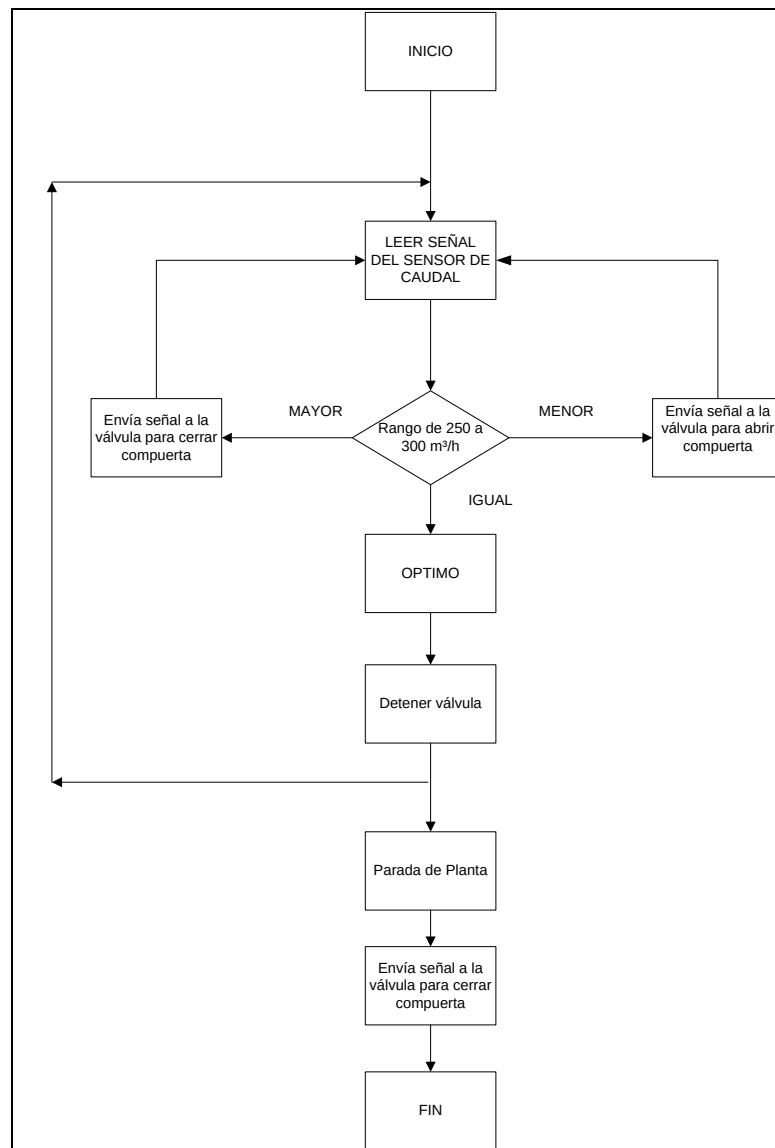


Figura 5.9. Diagrama de flujo para control de caudal de ingreso de agua a la planta.

El programa consta básicamente en hacer que el caudal de ingreso de agua a la bocatoma este por dentro de un rango de 250 a 300 m³/h. Esto lo hace mediante la lectura del sensor de caudal colocado en el lugar en cuestión.

Si los caudales de ingreso se encuentran fuera de los límites establecidos, entonces el PLC mandará una señal a la válvula de tal manera que esta proceda a abrir o cerrar la válvula según sea el caso. Si el caudal está

dentro del rango permitido el PLC continuará leyendo la información del sensor y la válvula estará en condición de apagada.

En el caso de que se proceda a una parada de planta, esto se podrá indicar en el programa de tal forma que la válvula se cierre y el control de esta sección sea nulo. Por cuestión económica y mediante la asesoría de personal especializado en el área civil se recomienda utilizar una reducción de tubería de 800DN A 300DN para colocar una válvula de control de caudal de menor diámetro, para posteriormente colocar una ampliación de 300 DN a 800DN y conectarse nuevamente con la tubería principal.

Para comprender mejor lo expuesto se presenta la figura 5.10:

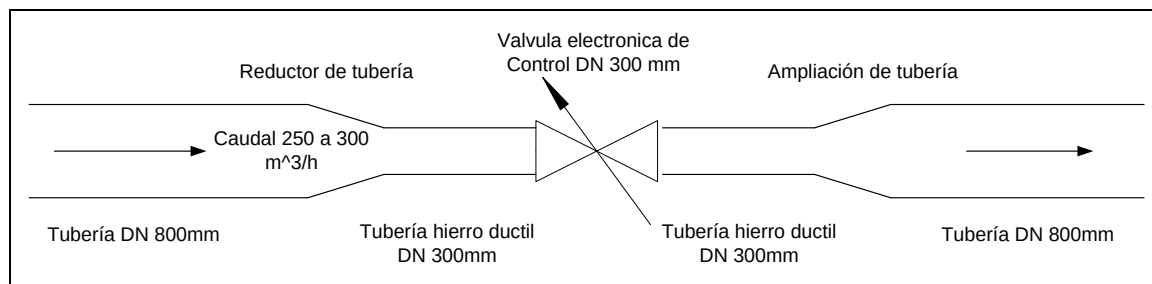


Figura 5.10. Propuesta para reducción de costos en el control de caudal de ingreso de agua a la planta.

La válvula que se recomienda colocar es de la marca Hidromodul, la cual es una válvula reguladora de caudal paso a paso de dos vías. Además esta válvula posee dos solenoides que actúan con tensiones de 24 a 100V D.C. o también se puede elegir 24, 110 o 220 V A.C. 50-60 HZ.

En la figura 5.11 se aprecia la estructura de la válvula.

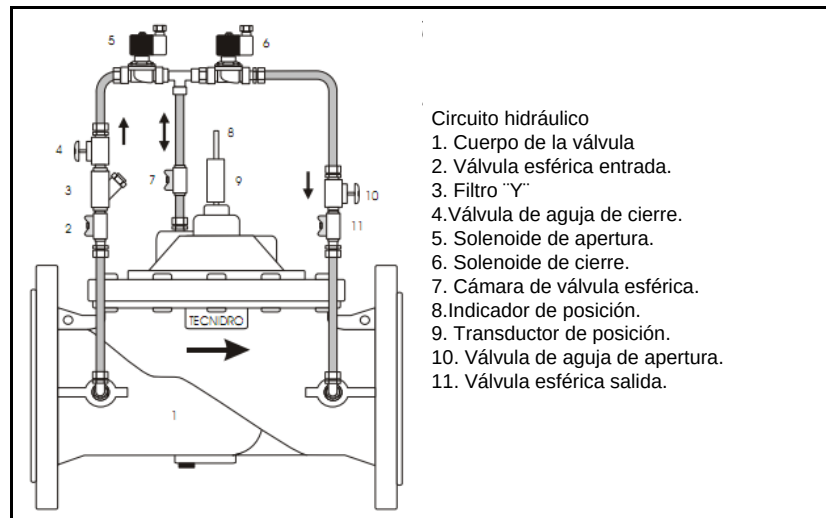


Figura 5.11. Válvula reguladora de caudal Hidromodul.

5.2.2. Instrumentación para medir el caudal de agua proveniente de las bombas de agua de los procesos:

Es de gran relevancia medir la cantidad de agua que consume la planta de fuerza para la elaboración del papel, es por esto que se realizará la medición del caudal de agua en la tubería que se dirige hacia los filtros de grava.

En esta tubería los valores máximos registrados con la instrumentación actual son de un caudal de 310 m³/h y la presión máxima de 8kg/cm².

Además se debe tener presente que el diámetro de la tubería es de 8".

Entonces para medir esta variable se recomienda utilizar el Sensor MAGFLO MAG 5100W descrito en el punto 5.2.1.

5.2.3. Instrumentación para medición de presión en los filtros de grava:

Es necesario realizar la medición de la presión en la tubería de agua que sale de los filtros de grava, esto con la finalidad de que el agua ingrese en condiciones favorables para el proceso de fabricación del papel, ya que si la presión disminuye significa que los filtros necesitan mantenimiento y el agua no está en condiciones óptimas para su utilización.

El rango de presión registrado en esta tubería es como máximo de 8 kg/cm², además es importante el diámetro de la misma el cual es de 8".

Es por esta razón que se recomienda utilizar el Transmisor Sitrans P serie Z (figura 5.12), para medición de presión manométrica, con un rango de 0 a 10 Bar (0 a 145 psig).



Figura 5.12. Transmisor de presión SITRANS P, serie Z para presión relativa y absoluta.

Fuente: <http://www.dastecsrl.com.ar/images/pdf/Sitrans%20P%20Z.pdf>

Este transmisor posee una salida de 4-20 mA., sin display y conexión 1/2" NPT.

El funcionamiento del transmisor de presión (Figura 5.13), es el siguiente:

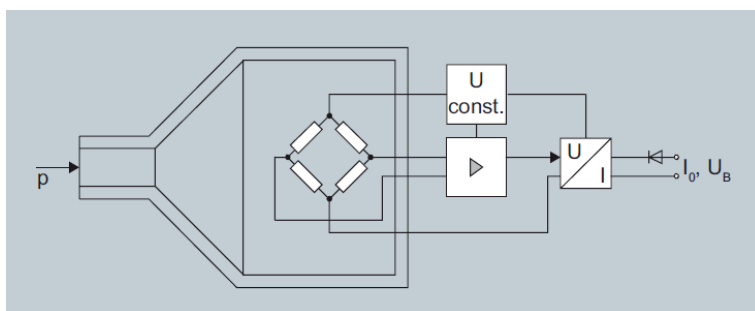


Figura 5.13. Diagrama de funcionamiento del Transmisor de presión SITRANS P, serie Z.

Fuente: <http://www.dastecsrl.com.ar/images/pdf/Sitrans%20P%20Z.pdf>



La célula de medida de película fina dispone de un puente de resistencias de película fina, en el cual la presión de servicio "p" se transmite a una membrana cerámica.

La tensión de salida de la célula de medida se conduce hacia un amplificador y se transforma en una señal de salida tipo corriente de 4 a 20 mA. La corriente de salida es linealmente proporcional a la presión de entrada.

5.2.4. Instrumentación para la señalización on-off de las bombas trifásicas del proceso:

Como se expuso en el capítulo 3, se recomendará la señalización del funcionamiento de las bombas que extraen el agua de la piscina y la llevan hacia los filtros de grava, con el propósito de identificar en tiempo real la o las bombas que se encuentran operando y durante que periodo de tiempo.

Para la señalización On-Off (funcionamiento) de las diferentes bombas trifásicas consideradas en el sistema Scada, se utilizarán los contactos auxiliares de los contactores asignados a cada bomba los cuales son utilizados para ponerlas en funcionamiento.

Con lo expuesto anteriormente se tendrá una señal digital (ON-OFF) por cada bomba del proceso.

Cabe mencionar que las 3 bombas son iguales, trifásicas con una tensión de 440V y tienen un sistema de arranque tipo estrella-triángulo (Y- Δ).

Es necesario conocer las principales características eléctricas de las bombas que intervienen en el proceso, las mismas se resumen en la tabla 5.10.



Tabla 5.10. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LAS BOMBAS DE AGUA DE LA PISCINA

SECCIÓN	ELEMENTO	CÓDIGO	TENSIÓN (V)	POTENCIA (KW)	CORRIENTE (A)	FRECUENCIA (Hz)	FASES	TIPO DE ARRANQUE
PISCINA	BOMBAS DE AGUA DE PROCESOS	74-01	440	110	177	60	3	Y-Δ
		74-02	440	110	177	60	3	Y-Δ
		74-03	440	110	177	60	3	Y-Δ

5.3. DISEÑO DEL SISTEMA SCADA PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO:

5.3.1. Instrumentación para medición de la presión del tanque acumulador pulmón:

En este proceso es importante la medición mediante el sistema SCADA, de la presión del aire comprimido que se almacena en el tanque acumulador pulmón.

En este tanque de almacenamiento de aire comprimido se tiene que el rango de valores registrados con la instrumentación existente son de alta presión de 7.2 Kg/cm² (117.084 psig) y baja presión de 6.2 Kg/cm² (102.88 psig).

Es por esta razón que se sugiere la utilización del Transmisor Sitrans P serie Z (7MF1564-3CA00-1GA1) el cual se muestra en la figura 5.14. Este transmisor tiene una caja robusta de acero inoxidable para medición de la presión manométrica de gases, líquidos y vapores, con un rango de 0 a 10 Bar (0 a 145 psig). Además tiene una salida de 4-20 mA., sin display y conexión 1/2" NPT.

El principio de funcionamiento de este transmisor se explicó en el punto 5.2.3.



Figura 5.14. Transmisor de presión SITRANS P, serie Z para presión relativa y absoluta (7MF1564-3CA00-1GA1).

Fuente: <http://www.dastecsrl.com.ar/images/pdf/Sitrans%20P%20Z.pdf>

5.3.2. Instrumentación para medición de la presión en las derivaciones para cada uno de los procesos:

En lo correspondiente a las salidas o derivaciones de las tuberías que dirigen el aire comprimido hacia Ondutec y al Molino papelerero, se tiene que la presión máxima registrada en cada una de estas tuberías es de 9.33 Bar (150 psig). Luego de realizar una revisión de la instrumentación existente para medir la presión se sugiere la utilización del Transmisor Sitrans P serie Z (7MF1564-3CB00-1GA1), el cual se muestra en la figura 5.15 y sirve para la medición de presión manométrica, con un rango de 0 a 16 Bar (0 a 232 psig). También posee una salida de 4-20 mA., sin display y conexión 1/2" NPT.



Figura 5.15. Transmisor de presión SITRANS P, serie Z para presión relativa y absoluta (7MF1564-3CB00-1GA1).

Fuente: <http://www.dastecsrl.com.ar/images/pdf/Sitrans%20P%20Z.pdf>



5.4. DISEÑO DEL SISTEMA SCADA PARA PROCESO DE RECUPERACIÓN DE EFLUENTES:

5.4.1. Instrumentación para medir el caudal a la salida de la bomba de agua hacia tanque 12:

Para esta sección del proceso de recuperación de efluentes es importante saber la cantidad de agua que se recupera para ser nuevamente enviado al proceso de fabricación del papel.

En la tubería utilizada en esta sección se tiene los siguientes datos que son necesarios para la elección de la instrumentación:

- **Diámetro de la tubería:** 8"
- **Caudal máximo registrado:** 60 m³/h
- **Temperatura de agua:** 20°C.

De acuerdo a las características de esta sección se recomienda utilizar el Sensor MAGFLO MAG 5100W descrito en el punto 5.2.1.

5.4.2. Instrumentación para medición del caudal a la salida de la bomba de extracción de pasta:

También es de interés de la empresa llevar un registro de la cantidad de pasta recuperada y que se envía nuevamente al proceso de producción del papel.

En la tubería en cuestión la misma que se dirige al Pulper tiene un diámetro de 8", un caudal máximo registrado de 60 m³/h, la temperatura de la pasta de papel de 15 °C.

Con los valores característicos de esta sección se recomienda utilizar el Transmisor Transmag 2 con Sensor 911/E (Figura 5.16), el cual consta con las siguientes características:

El caudalímetro SITRANS F M TRANSMAG 2 ofrece grandes ventajas en aplicaciones para pulpa y papel. Un potente campo magnético generado por corriente alterna proporciona una señal intensa que resulta idónea para medir el caudal, incluso si el fluido presenta un contenido de fibras de hasta un 15%.



Figura 5.16. Medidor de caudal SITRANS F M TRANSMAG 2

Fuente: <http://www.automation.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentation/sc/pi/Documentsu20Brochures/E20001-A400-P730-X-7800.pdf>

El PTFE es muy conocido por ofrecer la mayor resistencia a largo plazo frente a agentes químicos de todos los materiales de revestimiento y por conservar su estabilidad a pesar de estar expuesto de forma prolongada a una elevada concentración de agentes químicos y a altas temperaturas.

Gracias a su excelente relación señal-ruido, el SITRANS F M TRANSMAG 2 está preparado para cumplir con sus requerimientos, sin importar cuán exigentes sean.

Usa tecnología CA pulsante, el caudalímetro de CA pulsante TRANSMAG 2 genera un intenso campo magnético, una alta frecuencia de excitación y un

cero estable. Esto proporciona una señal de flujo estable, repetible, precisa y de respuesta rápida. Las especificaciones técnicas de este caudalímetro se presentan en la tabla 5.11.

Tabla 5.11. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SITRANS F M TRANSMAG 2.

CAUDALÍMETRO SITRANS F M TRANSMAG 2	
Tamaños nominales	DN 15 hasta DN 1000 (1/2" hasta 40")
Presión	±0,5% del volumen del caudal
Salidas	1 de corriente (0/4-20 mA), 1 digital (<10KHz), 1 de relé (ó una salida digital)
Comunicación	HART, PROFIBUS PA
Presión de servicio	Máx. 40 bar (máx. 580 psi)
Temperatura del fluido	-20°C hasta 150°C (-4 hasta 300°F)
Condiciones del fluido	Conductividad >1u/cm (opcional 0,1u/cm), sólidos hasta el 70%(también magnéticos), papel normal concentrado > 3%
Grado de protección envolvente del sensor	IP67 (NEMA 4X) IP68 (NEMA 6P)- opcional
Grado de protección envolvente del transmisor	IP67 (NEMA 4X)
Material de revestimiento	Linatex, PTFE, NOVOLAK, goma dura, Neopreno.

5.4.3. Instrumentación para la señalización on-off de las bombas del proceso de recuperación de efluentes:

En este proceso se ha recomendado la señalización de las bombas verticales de efluentes, la bomba de agua hacia el tanque 12 y las bombas de extracción de pasta, con el objeto de identificar en tiempo real que bombas están en funcionamiento y durante que periodo de tiempo y además supervisar si existe algún problema de funcionamiento en el proceso.

Es importante conocer las principales características eléctricas de las bombas que intervienen en el proceso.

Dichas características se enlistan en la tabla 5.12.

Tabla 5.12. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LAS BOMBAS DE AGUA Y PASTA DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE EFLUENTES

SECCIÓN	ELEMENTO	CÓDIGO	TENSIÓN (V)	POTENCIA (KW)	CORRIENTE (A)	FRECUENCIA (Hz)	FASES	TIPO DE ARRANQUE
BOMBAS	BOMBA VERTICAL EFLUENTES	74-71	440	3	30	60	3	Y-Δ
		74-72	440	3	30	60	3	Y-Δ
		74-73	440	3	30	60	3	Y-Δ
DEPÓSITO 2	BOMBA AGUA HACIA TANQUE 12 "PLANTA DE AGUAS"	74-106	440	11	22,5	60	3	Y-Δ
TANQUE ESPESADOR	BOMBA EXTRACCIÓN DE PASTA	74-78	220/440	7,5	12,8	60	3	DIRECTO Y-Δ
		74-79	220/440	7,5	12,8	60	3	DIRECTO Y-Δ

Considerando que todas las bombas son alimentadas con una tensión de 440VAC y arrancadas mediante un sistema Y-Δ, el criterio para la señalización es el mismo que el considerado en el punto 5.2.4 para las bombas del proceso de producción de agua recuperada, es decir también se utilizarán los contactos auxiliares de los contactores, para obtener una señal digital tipo ON-OFF.

5.5 DISEÑO DEL SISTEMA SCADA PARA PROCESO DE PRODUCCIÓN DE VAPOR:

5.5.1. Instrumentación para medición de la temperatura del combustible que ingresa a las calderas:

Es de gran relevancia medir la temperatura del combustible que ingresa a las calderas, para de esta manera generar un historial y así mejorar los índices de rendimiento de las mismas.

La temperatura máxima registrada en la tubería en cuestión es de 100 °C, por lo que se recomienda utilizar el termómetro digital SITRANS TF2 (Figura 5.17), el cual consta con las siguientes características:



Figura 5.17. Medidor digital SITRANS TF2

Fuente: http://www.sargent.biz/pdf/producto462_SITRANS%20TF2.pdf

El SITRANS TF2 está dotado de una caja de acero inoxidable (Ø 80 mm) con vidrio protector. La vaina protectora de acero inoxidable con muñón roscado contiene el sensor de temperatura Pt100. Gracias al acero inoxidable empleado, la vaina protectora dispone de una alta resistencia química, lo que es equivalente a un alto nivel de protección del sensor de temperatura contra las influencias externas.

En la parte posterior de la caja se encuentra la conexión eléctrica para la alimentación de tensión mediante el bucle de corriente de 4 a 20 mA. En la parte frontal de la caja se encuentra el display de 5 dígitos detrás de una tapa de cristal. Debajo del display se encuentran las 3 teclas para la parametrización del SITRANS TF2. Por encima del display hay un LED verde y uno rojo que indican el estado de funcionamiento. Los rangos de medida parametrizables en el margen desde -50 hasta +200 °C (-58 hasta +392 °F). El principio de funcionamiento del medidor digital SITRANS TF2 (Figura 5.18), es el siguiente:

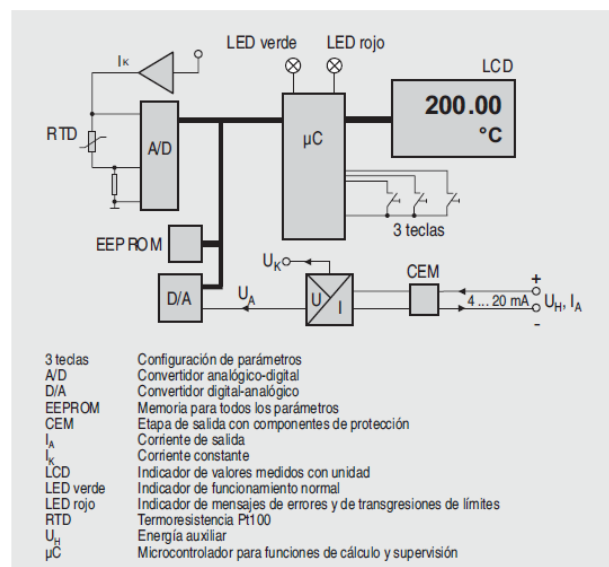


Figura 5.18. Principio de funcionamiento del Medidor digital SITRANS TF2.

Fuente: http://www.sargent.biz/pdf/producto462_SITRANS%20TF2.pdf

El sensor de temperatura Pt100 que se encuentra en el exterior se abastece con corriente por medio de la fuente de corriente constante I_K . Esto provoca una caída de tensión sobre el sensor que es proporcional a la temperatura. En el convertidor analógico-digital (A/D), la caída de tensión se transforma en una señal digitalizada. En el microcontrolador (μC) se lineariza la señal digital y se evalúa conforme a los datos que están depositados en el módulo EEPROM. Los valores preparados se indican en el display.



Además, los valores se convierten por el convertidor digital-analógico (D/A) y el convertidor de tensión-corriente (U/I) en una señal de corriente que es lineal a la temperatura IA (4 a 20 mA.).

5.5.2. Instrumentación para medición del caudal de ingreso de agua a las calderas:

Otro parámetro fundamental en el proceso de producción de vapor es medir el caudal de agua que ingresa a cada una de las calderas. Para de esta manera tener un historial y mejorar la eficiencia en el funcionamiento de las mismas.

La tubería de ingreso de agua a cada una de las calderas posee un diámetro de 3", un registro de la temperatura del agua de 94°C y un caudal de ingreso de agua de 21.1 m³/h.

Entonces para medir esta variable se recomienda utilizar el Sensor MAGFLO MAG 5100W descrito en el punto 5.2.1.

5.5.3. Instrumentación para medición de la temperatura de los gases en la chimenea de las calderas:

También es de gran aporte para aumentar la eficiencia del funcionamiento de las calderas, registrar los valores de la temperatura de los gases de combustión, ya que con los mismos se puede determinar si las variables de ingreso a la caldera están dentro de los rangos óptimos.

Un valor importante es el diámetro del tubo de salida de los gases de combustión de las calderas, el cual es de 1m. En la tabla 5.13 se muestra un registro de las máximas temperaturas a la salida de la chimenea.

Tabla 5.13. MONITOREO INTERNO DE EMISIONES GASEOSAS

PARÁMETROS	UNIDADES	FUENTE DE EMISIÓN		
		BABCOCK-WILCOX	PELUCCHI	FONTANA
TEMPERATURA CHIMENEA	°C	356	219	207

Es por esto que se recomienda utilizar una Termoresistencia para humos el cual mide temperaturas que se encuentran en un rango de -50°C a +400 °C (-58°C a +752 °F), lo cual es ideal para la zona donde se piensa realizar la medición, esta Termoresistencia se puede ver en la figura 5.19:



Figura 5.19. Termoresistencia para humos.

Fuente: http://www.automation.siemens.com/scstatic/catalogs/catalog/pi/FI01/es/FI01_es_kap03.pdf

Para poder llevar la señal se debe conectar a la Termoresistencia el SITRANS TH100 (Figura 5.20), el cual posee las siguientes características:



Figura 5.20. SITRANS TH100.

Fuente: http://www.automation.siemens.com/scstatic/catalogs/catalog/pi/FI01/es/FI01_es_kap03.pdf

El convertidor de temperatura SITRANS TH100 puede utilizarse para la medida de temperatura con Termoresistencia Pt100 en todos los sectores. La señal de salida es una corriente continua de 4 a 20 mA proporcional a la temperatura e independiente de la carga.

El principio de funcionamiento del SITRANS TH 100 (Figura 5.21) se presenta a continuación:

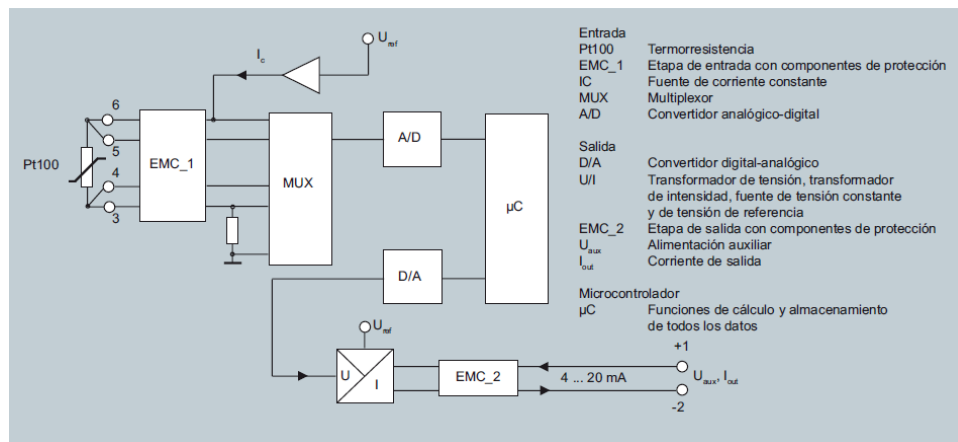


Figura 5.21. DIAGRAMA DE FUNCIÓN, SITRANS TH100

FUENTE: http://www.automation.siemens.com/scstatic/catalogs/catalog/pi/FI01/es/FI01_es_kap03.pdf

La señal suministrada por una Termoresistencia Pt100 (conexión a 2, 3 ó 4 hilos) se amplifica en la etapa de entrada.

La tensión proporcional a la magnitud de entrada se digitaliza por medio de un multiplexor en un convertidor analógico-digital.

El microcontrolador realiza la conversión de la señal en función de la característica del sensor y de otros parámetros (rango de medición, amortiguación, temperatura ambiente, etc.).

La señal preparada se transforma en una corriente continua de 4 a 20 mA independiente de la carga en un convertidor digital-analógico.

Los circuitos de entrada y de salida están protegidos cada uno por un filtro CEM contra las interferencias electromagnéticas.

5.5.4. Instrumentación para medición del nivel de bunker en el tanque diario de combustible:

El combustible es imprescindible en la planta de fuerza de Cartopel es por esto que es necesario saber el nivel de bunker que se tiene en el tanque diario de combustible.

En este tanque la temperatura del bunker no excede los 100°C, por lo que es la principal consideración para escoger una instrumentación adecuada.

Luego de realizar una revisión de los diferentes instrumentos para hacer este tipo de medición, se recomienda utilizar el detector de nivel ultrasónico Pointek CLS 100 (Figura 5.22), el cual consta de las siguientes propiedades:



Figura 5.22. Sensor de nivel ultrasónico Pointek CLS 100.

Fuente: <http://www.dastecsrl.com.ar/images/pdf/POINTEK%20CLS-100.pdf>



La sonda capacitiva Pointek CLS 100 proporciona una salida 4 ó 20 mA y una salida transistor para detectar el nivel alto / bajo de material en un proceso.

Este dispositivo mide el nivel por cambio de capacidad usando un método basado en frecuencia inversa.

Cuando el material controlado se acerca o entra en contacto con el sensor de la sonda, la sonda detecta un aumento de la capacitancia, y reacciona activando una alarma de nivel de alta. Si se desea una alarma de nivel bajo, puede programarse el sistema para detectar la falta de material, y activar una alarma de baja.

Además posee un diseño resistente a los materiales corrosivos y trabaja en un rango de temperatura de -40 a 110°C .

A continuación en la tabla 5.14 se presenta las características técnicas del Pointek CLS 100:

Tabla 5.14. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SENSOR DE NIVEL ULTRASÓNICO POINTEK CLS 100.

	POINTEC CLS 100 Conexión al proceso de acero inoxidable (versión de cable y de caja)	POINTEC CLS 100 Conexión al proceso de sintética (solo para la versión con caja de plástico)
ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA		
	- Versión de uso general a prueba de ignición de polvo: 10 a 33V CC - Seguridad intrínseca: 10 a 30V CC	
RENDIMIENTO		
Rango de medida	Hasta 100mm	
Valor medido	Nivel alto y bajo	
SALIDAS		
Salidas de alarma	mA: bucle de dos hilos 4/20mA o 20/4mA	
Salidas a transistor	- Versión estándar: Estado sólido 40V CC/ 28V CA, máx. 2 VA - Versión intrínsecamente segura: 30V CC	Relé 30V CC, 2A; 125V AC, 0.5ª; 110V CC, 0.5A
CONSTRUCCIÓN MECÁNICA		
Caja	- Versión de cable: Acero inoxidable 316(1.4401) - Versión de caja: PBT (o acero inoxidable 316), poliéster termoplástico transparente	Versión sintética: PBT, poliéster termoplástico transparente
Conexión al proceso	Acero inoxidable 316 (1.4401)	Conexión al proceso y sensor: PPS (una pieza)
Junta hermética	FPM (FFKM opcional)	
Sensor	PPS(PVDF opcional)	
CONDICIONES DEL MEDIO		
Temperatura ambiente	-40°C a 85°C (-40 A 185°F)	
Temperatura de proceso	-40°C a 100°C (-40 A 212°F)	
Presión	-1 a 10 bar (146 psi) manométrica, nominal	
Constante dieléctrica	(ξr): mín. 1.5	
Ubicación	Apto para montaje interior/ a prueba de intemperie	

5.5.4.1. Control del nivel de bunker en el tanque diario de combustible:

Se indicó en puntos anteriores la importancia del bunker en la planta de fuerza, es por eso que se realizará el control del nivel de combustible en este proceso.

Primeramente se escogió un sensor de nivel ultrasónico para poder tener la referencia del nivel en el que se encuentra el bunker y de esta manera el PLC analice este valor y actúe según sea el caso.

Para este proceso se realizó un diagrama de flujo del programa (Figura 5.23), que debe ser ejecutado por el PLC.

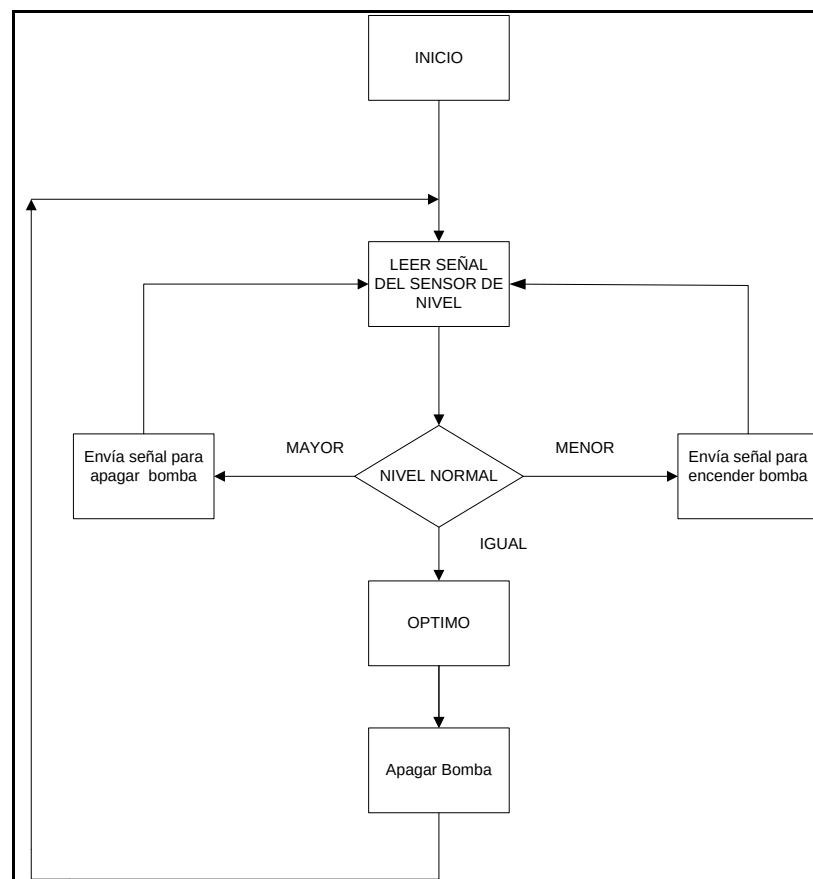


Figura 5.23. Diagrama de flujo para control de nivel de combustible.



El diagrama de flujo consta básicamente en que el PLC lea el nivel de bunker que se encuentra en el tanque diario de combustible, luego esta variable es analizada por el PLC para determinar si está dentro del rango establecido.

Si el nivel se encuentra fuera del valor normal, entonces el PLC enviará una señal a la bomba de descarga de bunker de tal manera que esta se encienda y proceda a llenar el tanque diario de combustible.

En el caso de que el nivel del bunker se encuentre dentro de los valores normales, el PLC no enviará ninguna señal a la bomba de descarga de bunker y continuará leyendo los valores del sensor ultrasónico.

5.5.5. Instrumentación para la señalización on-off de las bombas del proceso de producción de vapor:

En la producción de vapor se ha recomendado la señalización de funcionamiento en tiempo real de las bombas de agua y de combustible, siendo de gran importancia esta acción ya que se necesita verificar continuamente si está ingresando agua y combustible a la caldera para evitar fallos en el proceso y daños severos en el equipo.

Es importante conocer las características eléctricas de las bombas utilizadas por cada caldera para llevar el agua y combustible.

Dichas características se evidencian en la tabla 5.15.

Tabla 5.15. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LAS BOMBAS DE AGUA Y COMBUSTIBLE DE LAS CALDERAS.

SECCIÓN	ELEMENTO	CÓDIGO	TENSIÓN (V)	POTENCIA (KW)	CORRIENTE (A)	FRECUENCIA (Hz)	FASES	TIPO DE ARRANQUE
CALDERA PELUCCHI	BOMBA AGUA 1	70-03	440	30	50	60	3	Y-Δ
	BOMBA AGUA 2	70-03	440	30	50	60	3	Y-Δ
	BOMBA COMBUSTIBLE 1	70-03	440	0,55	3,6	60	3	Y-Δ
	BOMBA COMBUSTIBLE 2	70-03	440	0,55	3,6	60	3	Y-Δ
	VENTILADOR		440	15	49,5	60	3	Y-Δ
CALDERA FONTANA	BOMBA AGUA 1	74-11	440	63	102	60	3	Y-Δ
	BOMBA AGUA 2	74-208	440	63	102	60	3	Y-Δ
	BOMBA COMBUSTIBLE 1	87-01	440	0,55	3,6	60	3	Y-Δ
	BOMBA COMBUSTIBLE 2	87-02	440	0,55	3,6	60	3	Y-Δ
	VENTILADOR		440	15	49,5	60	3	Y-Δ
CALDERA BABCOCK WILCOX	BOMBA AGUA 1	74-92	440	22	36,5	60	3	Y-Δ
	BOMBA COMBUSTIBLE 1	870-201	440	0,55	3,6	60	3	Y-Δ
	BOMBA COMBUSTIBLE 2	870-202	440	0,55	3,6	60	3	Y-Δ
	VENTILADOR	75-06	440	15	49,5	60	3	Y-Δ

Constatando que todas las bombas son alimentadas con una tensión de 440VAC y arrancadas mediante un sistema Y-Δ, el criterio de señalización es el utilizado en 5.2.4.



5.6. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE SEÑALES:

Una vez que se ha escogido toda la instrumentación para poder captar las variables de los diferentes procesos, es necesario totalizar el número de señales que se tienen, para así posteriormente determinar que PLC es el adecuado para el diseño del sistema Scada.

A continuación se presenta en la tabla 5.16 un resumen de las señales de todos los procesos.

Tabla 5.16. SEÑALES DE LOS PROCESOS DE LA PLANTA DE FUERZA.

PROCESO	DESCRIPCIÓN	INSTRUMENTACIÓN	# ELEMENTO	TIPO SEÑAL	SEÑALES IN		SEÑALES OUT	
					V	I	V	I
DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA	SECCIONADOR TR1	TP VIZ-15	1	1-0	1			
	SECCIONADOR TR2	TP VIZ-15	1	1-0	1			
	SECCIONADOR TR9	TP VIZ-15	1	1-0	1			
	SECCIONADOR TR10	TP VIZ-15	1	1-0	1			
	SECCIONADOR TR11	TP VIZ-15	1	1-0	1			
	SECCIONADOR TR12	TP VIZ-15	1	1-0	1			
PRODUCCION DE AGUA TRATADA	CAUDAL DE INGRESO A LA PLANTA	SITRANS F M MAGFLO MAG 5100 W	1	HART (4-20 mA)		1	1	
	CAUDAL DE AGUA PROVENIENTE DE LAS BOMBAS DE AGUA DE LOS PROCESOS	SITRANS F M MAGFLO MAG 5100 W	1	HART (4-20 mA)		1		
	PRESION EN LOS FILTROS DE GRAVA	Sitrans P serie Z (7MF1564-3CA00-1GA1)	1	4-20 mA		1		
	SEÑALIZACIÓN BOMBA DE AGUA DE LOS PROCESOS	Contactos auxiliares	3	1-0	3			
PRODUCCION DE AIRE COMPRIMIDO	PRESIÓN DEL TANQUE ACUMULADOR PULMON	Sitrans P serie Z (7MF1564-3CA00-1GA1)	1	4-20 mA		1		
	PRESIÓN EN LAS DERIVACIONES PARA CADA UNO DE LOS PROCESOS	Sitrans P serie Z (7MF1564-3CB00-1GA1)	2	4-20 mA		2		
RECUPERACIÓN DE EFLUENTES	CAUDAL A LA SALIDA DE LA BOMBA DE AGUA HACIA TANQUE 12	SITRANS F M MAGFLO MAG 5100 W	1	HART (4-20 mA)		1		
	CAUDAL A LA SALIDA DE LA BOMBA DE EXTRACCIÓN DE PASTA	SITRANS F M TRANSMAG 2	1	HART(4-20 mA),		1		
	SEÑALIZACIÓN BOMBA VERTICAL DE EFLUENTES	Contactos auxiliares	3	1-0	3			
	SEÑALIZACIÓN BOMBA DE AGUA HACIA TANQUE 12	Contactos auxiliares	1	1-0	1			
	SEÑALIZACIÓN BOMBA DE EXTRACCIÓN DE PASTA	Contactos auxiliares	2	1-0	2			
PRODUCCIÓN DE VAPOR	TEMPERATURA DEL COMBUSTIBLE	SITRANS TF2	3	4-20 mA		3		
	CAUDAL DE INGRESO DE AGUA A LAS CALDERAS	SITRANS F M MAGFLO MAG 5100 W	3	HART (4-20 mA)		3		
	TEMPERATURA DE LOS GASES EN LA CHIMENEA	SITRANS TH100	3	4-20 mA		3		
	NIVEL DE COMBUSTIBLE EN EL TANQUE DIARIO DE COMBUSTIBLE	Pointek CLS 100	1	4-20 mA		1	1	
	Señalización ventilador toma de aire	Contactos auxiliares	3	1-0	3			
	Señalización bomba agua	Contactos auxiliares	5	1-0	5			
	Señalización bomba combustible	Contactos auxiliares	6	1-0	6			
					29	18	2	0

Se puede ver en la tabla 5.16 que se tiene un total de 29 señales digitales del tipo ON-OFF y 18 señales de corriente alterna de 4 a 20mA. También se

puede observar que solo se necesitan 2 señales de salida para realizar los respectivos controles.

5.7. DETERMINACIÓN DEL PLC A UTILIZAR:

Una vez que se ha totalizado por completo las señales de los diferentes procesos, se procede a la selección del PLC que se utilizará para implementar el sistema SCADA.

Características del PLC:

El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 (Figura 5.24), ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización.

Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones.



Figura 5.24. PLC S7-1200.

Fuente: *Controlador programable S7-1200, 378 Manual de sistema, 11/2009, A5E02486683-02*



La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC.

Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación.

La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

Numerosas funciones de seguridad protegen el acceso tanto a la CPU como al programa de control:

- Toda CPU ofrece protección por contraseña que permite configurar el acceso a sus funciones.
- Es posible utilizar la "protección de know-how" para ocultar el código de un bloque específico.

El sistema S7-1200 incluye tres modelos de CPU con potencia escalonada: CPU 1211C, CPU 1212C, CPU 1214C.

A continuación se presenta en la tabla 5.17 las características básicas de cada uno de los CPU.

Tabla 5.17. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS CPU DISPONIBLES EN LA GAMA S7-1200.

FUNCIÓN	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario			
Memoria de trabajo	25 KB		50 KB
Memoria de carga	1 MB		2 MB
Memoria remanente	2 KB		2 KB
E/S integradas locales			
Digitales	6 entradas/4 salidas	8 entradas/6 salidas	14 entradas/10 salidas
Analógicas	2 entradas	2 entradas	2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)		
Área de marcas (M)	4096 bytes		8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	Ninguna	2	8
Signal Board	1		
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Contadores rápidos	3	4	6
Fase simple	3 a 100 kHz	3 a 100 kHz 1 a 30 kHz	3 a 100 kHz 3 a 30 kHz
Fase en cuadratura	3 a 80 kHz	3 a 80 kHz 1 a 20 kHz	3 a 80 kHz 3 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2		
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		



A cada CPU puede añadirse un Módulo de Señales Integradas para ampliar el número E/S digitales o analógicas sin necesidad de aumentar el tamaño físico del controlador.

A la derecha de la CPU pueden colocarse los módulos de señales que se requieran para aumentar la capacidad de E/S digitales o analógicas.

A la CPU 212C pueden añadirse dos módulos de señales y a la CPU 1214C ocho módulos.

Todas las CPU SIMATIC S7-1200 pueden equiparse hasta con tres Módulos de Comunicación a la izquierda del controlador, lo que permite una comunicación serie punto a punto.

En la tabla 5.18 se presenta los diferentes tipos de módulos de señales y *Signal Boards* que permiten ampliar las prestaciones de la CPU.

Tabla 5.18. MÓDULOS DE SEÑALES Y SIGNAL BOARDS PARA EL PLC S7-1200.

Módulo		Sólo entradas	Sólo salidas	Entradas y salidas
Módulo de señales (SM)	Digital	8 entradas DC	8 salidas DC 8 salidas de relé	8 entradas DC/8 salidas DC 8 entradas DC/8 salidas de relé
		16 entradas DC	16 salidas DC 16 salidas de relé	16 entradas DC/16 salidas DC 16 entradas DC/16 salidas de relé
	Analógico	4 entradas analógicas 8 entradas Analógicas	2 salidas analógicas 4 salidas analógicas	4 entradas analógicas/2 salidas analógicas
Signal Board (SB)	Digital	-	-	2 entradas DC/2 salidas DC
	Analógico	-	1 salida analógica	-
Módulo de comunicación (CM) RS485 RS232				

Signal Boards:

Una Signal Board (SB) (Figura 5.25), permite agregar E/S a la CPU. Es posible agregar una SB con E/S digitales o analógicas. Una SB se conecta en el frente de la CPU.

- SB con 4 E/S digitales (2 entradas DC y 2 salidas DC)
- SB con 1 entrada analógica

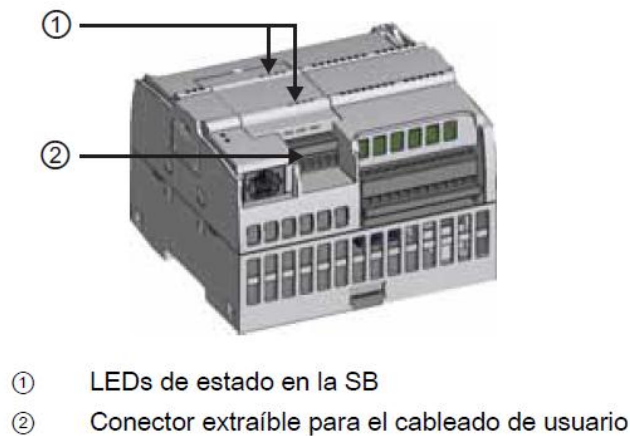
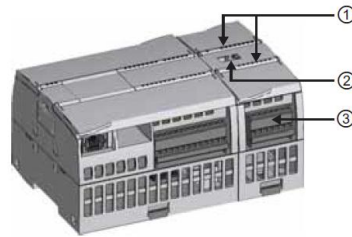


Figura 5.25. SIGNAL BOARD para el PLC S7-1200.

Fuente: <https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>

Módulos de señales

Los módulos de señales (Figura 5.26), se pueden utilizar para agregar funciones a la CPU. Los módulos de señales se conectan a la derecha de la CPU.



- ① LEDs de estado para las E/S del módulo de señales
- ② Conector de bus
- ③ Conector extraíble para el cableado de usuario

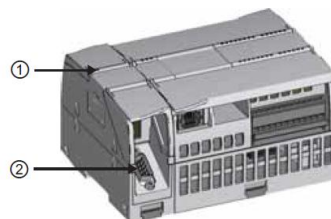
Figura 5.26. Módulos de Señales para el PLC S7-1200.

Fuente: <https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>

Módulos de comunicación:

La gama S7-1200 provee módulos de comunicación (CMs) (Figura 5.27), que ofrecen funciones adicionales para el sistema. Hay dos módulos de comunicación, a saber: RS232 y RS485.

- La CPU soporta como máximo 3 módulos de comunicación
- Todo CM se conecta en lado izquierdo de la CPU (o en lado izquierdo de otro CM).



- ① LEDs de estado del módulo de comunicación
- ② Conector de comunicación

Figura 5.27. Módulos de Comunicación para el PLC S7-1200.

Fuente: <https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>



Interfaz Profinet integrada:

El SIMATIC S7-1200 dispone de una interfaz PROFINET integrada que garantiza una comunicación perfecta con el sistema de ingeniería SIMATIC STEP7 Basic integrado. La interfaz PROFINET permite la programación y la comunicación con los paneles de la gama SIMATIC HMI Basic Panels para la visualización, con controladores adicionales para la comunicación de CPU a CPU y con equipos de otros fabricantes para ampliar las posibilidades de integración.

Funciones tecnológicas integradas:

Entradas de alta velocidad:

El SIMATIC S7-1200 posee hasta 6 contadores de alta velocidad. Hay tres entradas de 100KHz y otras tres de 30KHz perfectamente integradas para funciones de conteo y medición.

Salidas de alta velocidad:

También están integradas dos salidas de alta velocidad para secuencias de impulsos, de 10KHz, que permiten controlar la velocidad y posición de un motor paso a paso o un servo. Alternativamente pueden usarse como salidas con modulaciones de ancho de impulso, a fin de regular la velocidad de un motor, posicionar una válvula o controlar un calefactor.

Regulación PID:

Existe la posibilidad de manejar hasta 16 lazos de regulación PID con función *autotuning*, permiten aplicaciones de proceso sencillas con lazo de regulación cerrado.



Memoria:

Hasta 50 KB de memoria de trabajo en el controlador, con libre configuración del tamaño de memoria de programa y de datos de usuario. Además, el controlador posee hasta 2MB de memoria de datos remanente.

Con la SIMATIC Memory Card opcional se pueden transferir fácilmente programas a varias CPU. La tarjeta también puede utilizarse para guardar diversos archivos o para actualizar el firmware del controlador.

5.8 PLC Y MÓDULOS DE SEÑALES Y COMUNICACIONES PARA CADA PROCESO:

Con la finalidad de supervisar y controlar la planta de fuerza, se ha visto la necesidad de utilizar un PLC S7-1200 configurado para cumplir las funciones de Maestro para cada uno de los procesos, y de esta manera concentrar en un solo PLC todas las señales involucradas en un proceso específico.

Además, se deberán adicionar en donde se requiera módulos de señales y comunicaciones a los PLC configurados como Maestro. El propósito de adicionar un módulo de comunicaciones es permitir al autómata comunicarse con los instrumentos de campo utilizando el protocolo de comunicaciones que estos manejen, mientras que utilizamos los módulos de señales para suplir la demanda de entradas y salidas principalmente del tipo analógicas que se presenten en determinado proceso.

5.8.1. Proceso de Distribución de Energía Eléctrica:

Debido a que en este proceso existen 6 señales de entrada digitales tipo ON-OFF se recomienda utilizar el PLC S7-1200 con CPU 1214C, el mismo que cumple las funciones de un PLC Maestro.



Adicionalmente, se utilizará un módulo de comunicaciones CM-1241 RS-485 configurado en la función de Maestro MODBUS, que nos permitirá establecer una comunicación punto a punto con los medidores de potencia PM-500 en la función de esclavos, los mismos que manejan también un protocolo de comunicación MODBUS RS-485, y de esta manera receptar y utilizar toda la información correspondiente de los transformadores ya monitoreados en un mismo controlador.

5.8.2. Proceso de Producción de Agua Tratada:

En este proceso se ha totalizado 3 señales de entrada digitales tipo ON-OFF y 3 señales de entrada analógicas de tipo 4-20 mA. Además se necesita 1 señal de salida analógica. Es por esto que se recomienda utilizar el PLC S7-1200 con CPU 1214C. Además se necesita un módulo de señal analógico SM 1231 AI 4x13bit, el cual posee 4 entradas analógicas.

5.8.3. Proceso de Producción de Aire Comprimido:

En este proceso de la planta de fuerza únicamente se posee 3 señales de entrada analógicas. En consecuencia, se recomienda utilizar el PLC S7-1200 con CPU 1214C. Además, se necesita un modulo de señal analógico SM 1231 AI 4x13bit, el cual posee 4 entradas analógicas.

5.8.4. Proceso de Recuperación de Efluentes:

Aquí se totalizan 8 señales de entrada, de las cuales 6 señales son digitales del tipo ON-OFF, y 2 señales son analógicas en un rango de 4-20 mA. Es por esta razón que se recomienda utilizar el PLC S7-1200 con CPU 1214C. No existe la necesidad de utilizar un módulo de señales adicional.



5.8.5. Proceso de Producción de Vapor:

Este proceso es el que mayor número de señales posee, ya que se contabiliza un total de 24 señales de entrada y 1 señal de salida. De este total 14 señales son digitales del tipo ON-OFF y 10 señales son analógicas en un rango de 4-20 mA. Entonces se recomienda utilizar el PLC S7-1200 con CPU 1214C. Además se debe utilizar adicionalmente 3 módulos de señales SM 1231 AI 4x13bit, en este caso se utilizan tres módulos para dejar una reserva para aplicaciones posteriores.

5.9 DISEÑO DE LA RED DE COMUNICACIONES:

La red de comunicaciones es una de las partes esenciales dentro de la configuración de un sistema Scada, ya que nos permite transportar de manera confiable y oportuna la información de las variables monitoreadas y controladas que serán recopiladas por los ordenadores en el centro de control.

Para su diseño, en primera instancia, se consideró la configuración de la Red de comunicaciones interna de la planta de fuerza, debido a que algunos de los procesos (transformadores de la Distribución de Energía Eléctrica y el nivel de agua en la piscina) ya contaban con un sistema de supervisión.

Del levantamiento técnico de la planta se pudo constatar que existe una Red Modbus RS-485 que interconecta los medidores de potencia PM-500 con el ordenador principal del centro de control. Además se pudo identificar una red Ethernet que se la utiliza para interconectar directamente un PLC (marca Twido) que recogía los datos de las señales de las principales variables monitoreadas en la caldera Cleaver Brocks y el nivel de líquido en la piscina con el ordenador principal.



La idea fundamental del diseño de la Red de comunicaciones es condensar estas redes dispersas y las nuevas redes que se vayan incorporando en un solo nodo (switch) de comunicaciones; es decir que toda la instrumentación y equipos de comunicación utilizados actualmente para la adquisición de datos en los procesos de distribución de energía eléctrica, producción de vapor y recuperación de efluentes se conectarán a la red propuesta en este proyecto de tal manera que no se generen más gastos.

En segunda instancia, se consideró las longitudes a los que se deberían instalar los instrumentos de campo tomando como referencia el centro de control.

Luego de inspeccionar los posibles lugares, se determinó que las distancias no eran un impedimento para usar una topología punto a punto entre los elementos Maestros y sus respectivos elementos esclavos gracias a las características técnicas de los equipos a utilizarse y del tipo de Red que se utilizaría.

Debido a que se implementará un PLC por cada proceso (Multimaestro), es conveniente que la topología de la red sea en Multipunto compartido en bus. La instrumentación de campo se ha escogido cuidadosamente con el propósito de que el sistema de transmisión de las señales de las variables sea mediante niveles de corriente (bucle de corriente) entre 4-20mA, debido a que permite la transmisión de las señales analógicas a grandes distancias sin pérdidas o variaciones de las señales. El medio de transporte de las distintas señales será un cable eléctrico (par de cobre).

La topología de la red será en árbol debido a que todos los equipos están conectados a un nodo central (switch) que realizara las funciones de control y coordinación entre elementos (topología en estrella) y el modo de



transmisión de la información por parte de los Maestros hacia el equipo Central será aleatorio (topología en bus).

Debido a la forma en la que se gestionara la información en los diferentes nodos de la red, el modo de comunicación entre los Maestros y sus respectivos esclavos será punto a punto.

El Protocolo de Comunicaciones entre los maestros y el ordenador principal (centro de control) se lo hará utilizando ETHERNET (Profinet).

Para un mayor detalle del diseño de la red de comunicaciones para la planta de fuerza, consultar el Anexo 1.

5.10 LISTA DE PRECIOS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL SISTEMA SCADA:

Para obtener un costo referencial de los equipos y elementos utilizados para el diseño del sistema SCADA tanto a nivel de *Hardware* como de *Software*, se ha solicitado asesoría a la empresa CENELSUR; la cual es representante autorizada en el Austro de la marca SIEMENS.

A continuación en la tabla 5.19 se presenta la especificación de cada uno de los equipos y sus respectivos precios.



Tabla 5.19 PRECIOS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN LA PROPUESTA DEL SISTEMA SCADA.

CODIGO DE COMPRA	DESRIPCIÓN DEL ARTICULO	EQUIPO	DESCRIPCION PROCESO	CANTIDAD	PRECIO U.	TOTAL
7KM2112-0BA00-3AA0	Medidor PAC 3200, Ue=690/400VAC trifásico, Uc=95-240VAC, 140-340VDC.	SETRON PAC3200	Medición parámetros eléctricos.	4	605	2.420,00
4NF02 24-2JE2	TC , Relación de transformación 300/5, Clase 0,5; Capacidad de ruptura 50 KA, Consumo 5 VA, Sección máxima de conductor 299 mm².	TI 300-5 A	Conexión con sentron pac 3200	3	115	345,00
4NF02 27-2JE2	TC , Relación de transformación 600/5, Clase 0,5; Capacidad de ruptura 50 KA, Consumo 5 VA, Sección máxima de conductor 499 mm².	TI 600-5 A	Conexión con sentron pac 3200	3	125	375,00
4NF04 34-2Jj2	TC , Relación de transformación 2000/5, Clase 0,5; Capacidad de ruptura 50 KA, Consumo 12,5 VA, Sección máxima de conductor 599 mm².	TI 2000-5 A	Conexión con sentron pac 3200	3	240	720,00
4NF02 26-2JE2	TC , Relación de transformación 500/5, Clase 0,5; Capacidad de ruptura 50 KA, Consumo 5 VA, Sección máxima de conductor 499 mm².	TI 500-5 A	Conexión con sentron pac 3200	3	125	375,00
7ME6520-7HB13-2CA2	7H Diámetro nominal: DN 800 (32") B Norma de brida y presión nominal: EN 1092-1: PN10 (DN 200,,,2000(8" ,,,78")) 1 Material de las bridas: brida de acero al carbono 3 Material de revestimiento: Goma dura NBR 2 Material de los electrodos Hastelloy C276 C Transmisor con indicador: MAG 6000 I, Aluminio, 18,,,90V DC, 115,,,230V AC. A Comunicación: Sin comunicación 2 Pasacables/caja de bornes: 1/2"NPT: Caja de bornes de poliamida o 6000 I compacta.	SITRANS F M, sensor MAGFLO MAG 5100 W.	Caudal ingreso de agua a la planta	1	10498,33	10.498,33
7ME6520-4PB13-2CA2	4P Diámetro nominal: DN 200 (8") B Norma de brida y presión nominal: EN 1092-1: PN10 (DN 200,,,2000(8" ,,,78")) 1 Material de las bridas: brida de acero al carbono 3 Material de revestimiento: Goma dura NBR 2 Material de los electrodos Hastelloy C276 C Transmisor con indicador: MAG 6000 I, Aluminio, 18,,,90V DC, 115,,,230V AC. A Comunicación: Sin comunicación 2 Pasacables/caja de bornes: 1/2"NPT: Caja de bornes de poliamida o 6000 I compacta.	SITRANS F M, sensor MAGFLO MAG 5100 W.	Caudal hacia filtro de grava	1	3066	3.066,00



CODIGO DE COMPRA	DESCRIPCIÓN DEL ARTICULO	EQUIPO	DESCRIPCION PROCESO	CANTIDAD	PRECIO U.	TOTAL
7MF1564-3CA00-1GA1	Transmisor Sitrans P serie Z, para medición de presión manométrica rango de 0 a 10 Bar (0 a 145 psig), salida 4-20mA, sin display, conexión 1/2" NPT	Transmisor Sitrans P serie Z	Presión tanque pulmón y filtro grava	2	153,3	306,60
7MF1564-3CB00-1GA1	Transmisor Sitrans P serie Z, para medición de presión manométrica rango de 0 a 16 Bar (0 a 232 psig), salida 4-20mA, sin display, conexión 1/2" NPT	Transmisor Sitrans P serie Z	Presión para ondulec y corrugadora	2	163,52	327,04
7ME6520-3TC13-2CA2	3T Diámetro nominal: DN 100 (4") C Norma de brida y presión nominal: EN 1092-1: PN16 (DN 65,,,1200(21/2",,,48")) 1 Material de las bridas: brida de acero al carbono 3 Material de revestimiento: Goma dura NBR 2 Material de los electrodos Hastelloy C276 C Transmisor con indicador: MAG 6000 I, Aluminio, 18,,,90V DC, 115,,,230V AC. A Comunicación: Sin comunicación 2 Pasacables/caja de bornes: 1/2"NPT: Caja de bornes de poliamida o 6000 I compacta.	SITRANS F M, sensor MAGFLO MAG 5100 W.	Caudal bomba tq. 12	1	2519,96	2.519,96
7ME5034-0AA11-2AA0-Z A02	Transmisor de medidor de flujo magneto inductivo, con transmisor Transmag 2, salida 4-20 mA con protocolo Hart, alimentación 110-230VAC,	SITRANS F M TRANSMAG 2	Caudal pasta hacia pulper	1	1746,16	1.746,16
7ME5933-0AC04	Placa de montaje del transmisor			1	77,38	77,38
7ME5610-3TC14-1AA2-Z A02	SENSOR TRANSMAG 2 911/E REMOTE DN100, Conexión de 4", Acero inoxidable hardrubber .			1	2378,34	2.378,34
7ME5930-5CA00-0AA0	Cable de conexión entre el sensor y transmisor 10 metros.			1	281,78	281,78
7NG3140-1AA00	Termómetro: Transmisor salida 4 - 20 mA., con visualización, rango de medición 0...120 °C	SITRANS TF2	Temperatura bunker hacia las calderas	3	606,82	1.820,46
7ME6520-3FC13-2CA2	3F Diámetro nominal: DN 65 (2 1/2") C Norma de brida y presión nominal: EN 1092-1: PN16 (DN 65,,,1200(21/2",,,48")) 1 Material de las bridas: brida de acero al carbono 3 Material de revestimiento: Goma dura NBR 2 Material de los electrodos Hastelloy C276 C Transmisor con indicador: MAG 6000 I, Aluminio, 18,,,90V DC, 115,,,230V AC. A Comunicación: Sin comunicación 2 Pasacables/caja de bornes: 1/2"NPT: Caja de bornes de poliamida o 6000 I compacta.	SITRANS F M, sensor MAGFLO MAG 5100 W.	Caudal ingreso de agua a las calderas	3	2468,86	7.406,58



CODIGO DE COMPRA	DESRIPCIÓN DEL ARTICULO	EQUIPO	DESCRIPCION PROCESO	CANTIDAD	PRECIO U.	TOTAL
7MC1006-2DA11	PT-100 Longitud de montaje 160mm, conexión eléctrica de 3 hilos, rango de medición de -50 a 400 grados celcius, termopozo de acuerdo a DIN 43763, conexión a proceso rosca G 1/2 "	TERMORESISTENCIA PARA HUMOS	Temperatura gases salida calderas	3	126	378,00
7NG3211-0NN00	Transmisor de temperatura para montaje sobre el elemento sensor de conexión tipo DIN B, señal de salida 4-20mA, separación galvánica, para Pt-100. Sin protección de	TH 100	Transmisor para Pt100 conexión a dos hilos	3	110	330,00
7ML5501-0AA30	Pointek CLS 100, conexión a dos cables,acero inoxidable, conexión al proceso 1/4 NPT, señal de salida 4 ó 20 mA	Pointek CLS 100	Nivel de bunker en el tanque	1	775,26	775,26
6ES7214-1BE30-0XB0	CPU 214C AC/DC/RELÉ, alimentación 110/220 AC. Incorpora 14 DI a 24 VDC, 10 DO tipo relé, 2 AI para voltaje, memoria 50 KB. Con puerto industrial ethernet RJ45 10/100 Mbps. Capacidad de expansión de hasta un Signal Board(SB), 8 módulos de señal (SM) y 3 modulos de comunicación (CM)	PLC S7-1200 CPU 214C	PLC	5	535	2.675,00
6ES7231-4HD30-0XB0	Módulo de señal de 4 entradas analógicas.	SM 1231 AI 4x13bit	MODULO DE SEÑAL	5	295	1.475,00
6ES7241-1C30-0XB0	CM 1241 Modulo de comunicación RS 485. Incorpora los protocolos ASCII, Modbus RTU y USS	MODULOS DE SEÑAL	RED PM 500	1	180	180,00
	Válvula electrónica de Control DN 300 mm Marca: Hydromodul, extremos bridados PN 100	Válvula HIDROMODUL	Control caudal de ingreso	1	11423	11.423,00
	Equipo para realizar la reducción de tubería, para control de caudal de ingreso a la planta.	Adaptador Brida/Junta Compresión para tubería de hierro dúctil DN 800 mm		2	471	942,00
		Reductor concentrico de hierro ductil 800 x 450 mm extremos		2	883,68	1.767,36
		Reductor concéntrico de hierro dúctil 450 x 300 mm extremos		2	377,91	755,82
		Tubería de hierro dúctil DN 300 mm extremos bridados PN10		12 m	86,12	1.033,44
					SUMAN	56.398,51
					DESCUENTO 10%	5639,851
					SUBTOTAL	50.758,66
					IVA 12%	6091,03908
					TOTAL	56.849,70



Luego de realizar la aproximación referencial al costo de los equipos propuestos para el diseño del Sistema SCADA a nivel de *Hardware* se tiene que:

- El costo de los equipos utilizados para el proceso de Distribución de Energía Eléctrica es de USD. \$5.245,00.
- El costo de los equipos utilizados para el proceso de Producción de vapor es de USD. \$11.540,30.
- El costo de los equipos utilizados para el proceso de Producción de agua tratada es de USD. \$30.468,95.
- El costo de los equipos utilizados para el proceso de Producción de Recuperación de efluentes es de USD. \$7.833,62.
- El costo de los equipos utilizados para el proceso de Producción de Aire Comprimido es de USD. \$1.310,34.
- El costo total de los equipos de *Hardware* con los respectivos descuentos para el proyecto es de USD. \$56.849,70.

Adicionalmente, para el diseño del Sistema SCADA a nivel de *Software*, se ha propuesto la adquisición de las licencias del Software de Ingeniería SIMATIC WINCC flexible 2008, el cual tiene un costo de USD. \$1.800,00.

En función de la investigación, en empresas donde se han realizado este tipo de proyectos el costo de mano de obra, instalación, prueba de señales, montaje y puesta en operación representa un 25% del costo de los equipos. Si el costo referencial de los equipos es de USD. \$56.849,70; la mano de obra representa USD. \$14.212,42; y considerando la adquisición de las licencias del Software en USD. \$1.800,00; el costo referencial total del proyecto es de USD. \$72.862,12; que es una cantidad accesible para la empresa en función de los beneficios que obtendría al implementar el proyecto. Con la implementación de dicho Sistema la empresa obtendría ganancias en mano de obra, consumo de energía y aumento de la productividad por disminución de costos.



CAPITULO 6

DISEÑO DEL DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA SCADA DE LA PLANTA DE FUERZA DEL MOLINO PAPELERO CARTOPEL

6.1 INTRODUCCIÓN:

El diseño del diagrama unifilar del Sistema Scada correspondiente a cada uno de los Procesos Industriales de la Planta de Fuerza es un procedimiento de vital importancia para el desarrollo de nuestra propuesta de diseño, el mismo que nos permitirá identificar plenamente los elementos a monitorear y controlar, su funcionalidad, y sobre todo, la manera en la que se va a realizar las tareas de supervisión y control.

Para este propósito, se ha utilizado el software HMI SIMATIC WINCC flexible 2008, el cual nos permite crear y editar proyectos de supervisión y control en el ámbito de las instalaciones industriales por medio de paneles de operador.

La facilidad y las características que ofrece este software nos permiten de una manera amigable construir las imágenes de los diagramas unifilares en el área de trabajo del programa mediante objetos predefinidos que mostrarán los equipos existentes en cada proceso en la planta, sus secuencias operativas y preseleccionar valores de las variables a monitorear de acuerdo a datos reales de estas variables que la planta maneja.

Intencionalmente se ha realizado el diseño en este software con el propósito de realizar una simulación de la operación del Sistema Scada que se pretende implementar en la planta de fuerza tomando en cuenta sus condiciones operativas, y mostrar el alcance, estructura y principales características de este sistema.

Estas imágenes diseñadas (diagramas unifilares) podrán ser visualizadas en una pantalla HMI o en la pantalla de un ordenador central del sistema Scada, dependiendo de las necesidades de los operadores y supervisores de la planta.

A continuación, se describirá brevemente la disposición y características de cada uno de los diagramas unifilares diseñados:

En primera instancia, se ha diseñado una pantalla principal (Figura 6.1), con la función de poder acceder de una manera rápida al proceso que se desea observar:

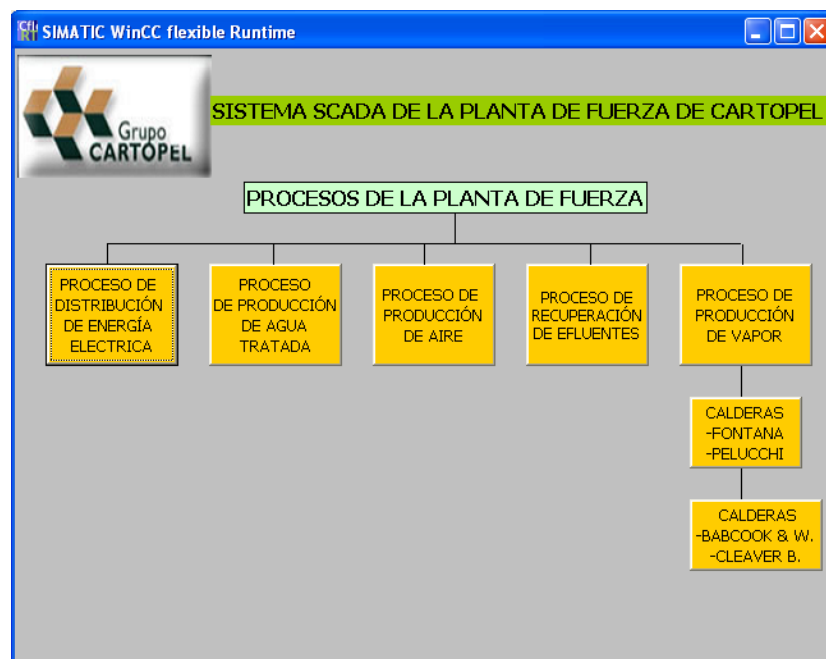


Figura 6.1. Pantalla principal del sistema Scada.

6.2. DIAGRAMA UNIFILAR DEL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA:

A continuación se muestra la grafica del diagrama unifilar para el proceso de Distribución de Energía Eléctrica (Figura 6.2). Las principales características de esta pantalla que representa el Sistema Scada para esta sección son:

- Presentación de los valores reales de los principales parámetros eléctricos (Corriente, Potencia Activa y Factor de Potencia) de la acometida que alimenta de energía eléctrica al sistema.
- El valor real de la tensión en las barras.
- Presentación de los valores reales de los principales parámetros eléctricos (Corriente, Potencia Activa y Factor de Potencia, Cargabilidad) de los transformadores principales.
- Estado operativo (abierto o cerrado) de los seccionadores que conectan o aíslan a los transformadores principales del sistema.

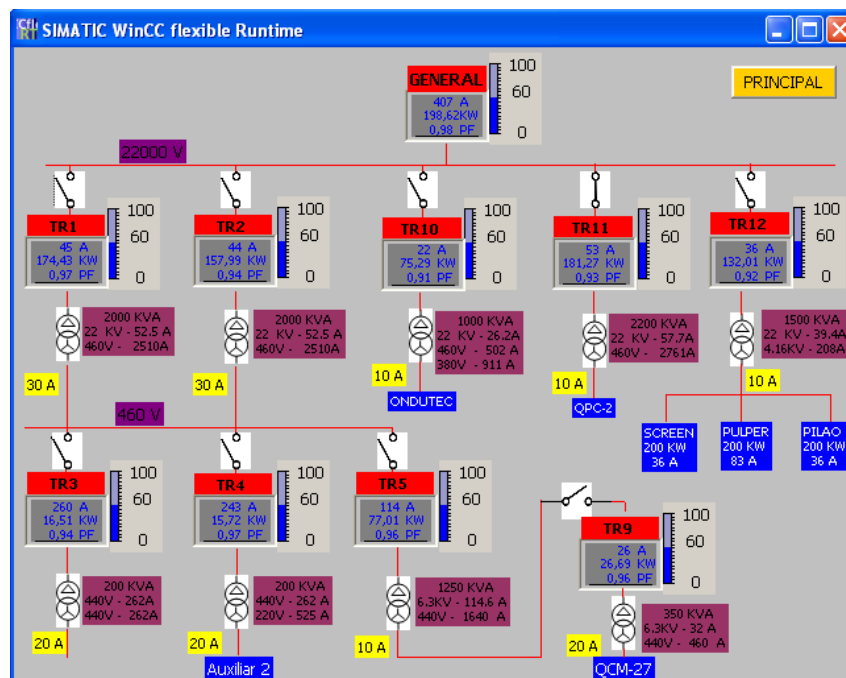


Figura 6.2. Diagrama Unifilar del Sistema Scada para el Proceso de Distribución de Energía Eléctrica.

6.3. DIAGRAMA UNIFILAR DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE VAPOR:

A continuación se muestran las graficas de los diagramas unifilares diseñados para el proceso de Generación de Vapor. Las principales características de esta pantalla que representa el Sistema Scada para esta sección son:

- Se tiene un diagrama unifilar (figura 6.3.) en donde se puede apreciar:
- El estado operativo (On-Off) de la bomba que transfiere el bunker del tanque principal al tanque diario de Combustible.
- El nivel y la temperatura del combustible dentro del tanque diario de combustible.
- El nivel y temperatura del agua tratada en el tanque Make Up.

En las dos pantallas (figura 6.4. y figura 6.5.) se pueden apreciar los diagramas unifilares para las calderas Fontana, Pelucchi, Babcock Wilcox y Cleaver Brooks, que presentan las siguientes características:

- El estado operativo (On-Off) del ventilador de cada caldera y de las bombas tanto de combustible como de agua.
- El valor real del caudal de agua y de la temperatura del bunker que ingresan a las calderas.
- La temperatura de los gases de combustión en la chimenea de cada caldera.

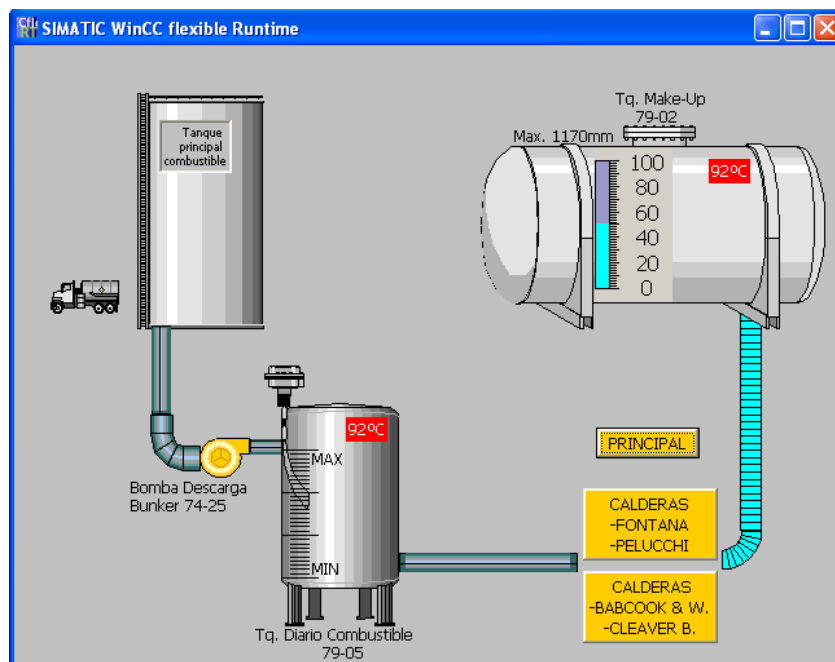


Figura 6.3. Diagrama Unifilar del Sistema Scada para los Tanques de Combustible y Agua Tratada.

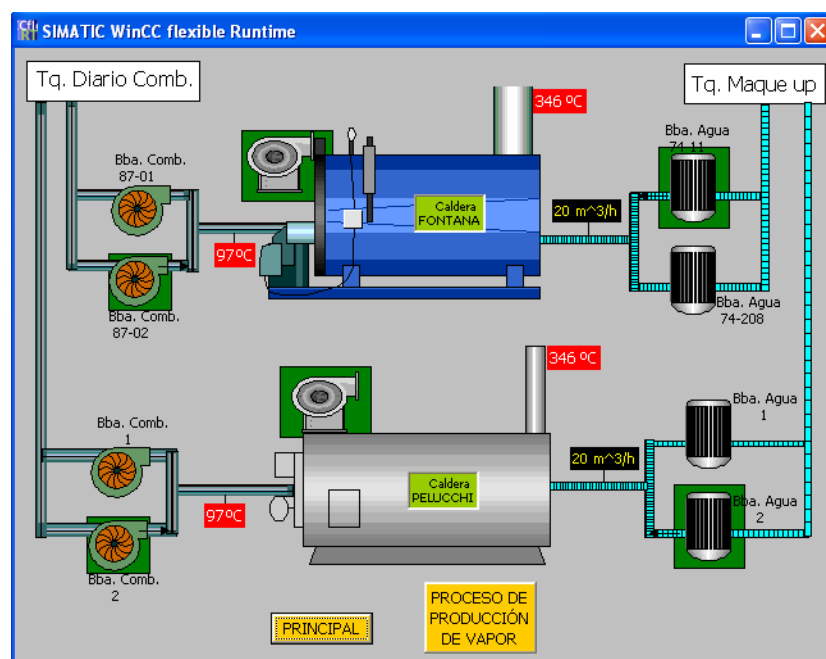


Figura 6.4. Diagrama Unifilar del Sistema Scada para las Calderas Fontana y Pelucchi.

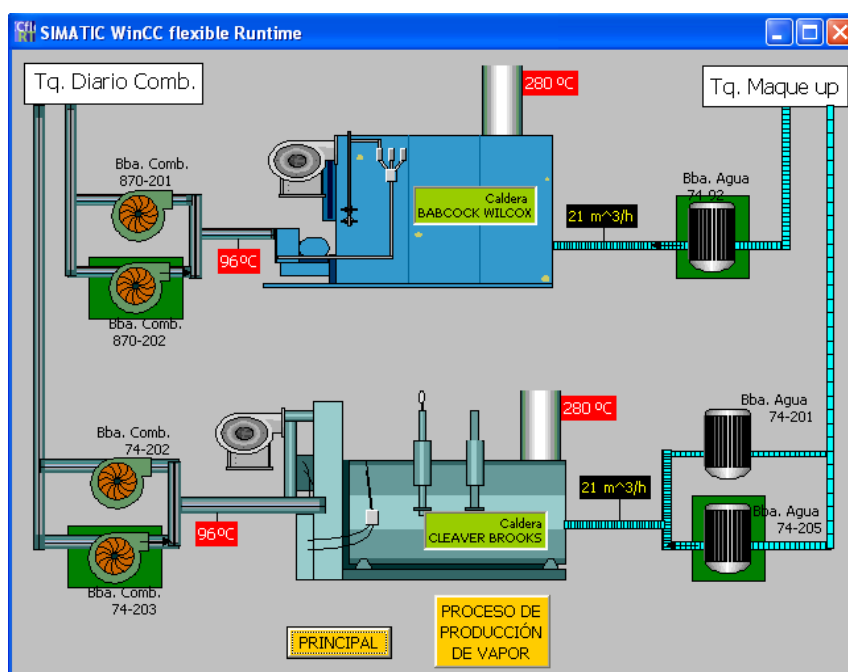


Figura 6.5. Diagrama Unifilar del Sistema Scada para las Calderas Babcock Wilcox y Cleaver Brooks.

6.4. DIAGRAMA UNIFILAR DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA TRATADA:

Se muestra la gráfica (figura 6.6.) del diagrama unifilar diseñado para el proceso de Producción de Agua Tratada. Las principales características de esta pantalla que representa el Sistema Scada para esta sección son:

- Se puede controlar y observar el caudal de agua que ingresa desde el desarenadero a la piscina.
- Se especifica la dirección del flujo del agua mediante flechas hacia cada uno de los elementos constitutivos del proceso.
- Se puede observar el nivel de agua en la piscina.
- El estado operativo (On-Off) de las bombas verticales de agua del proceso.
- El caudal de agua que ingresa a los filtros de grava.
- La presión del agua a la salida de los filtros de grava.

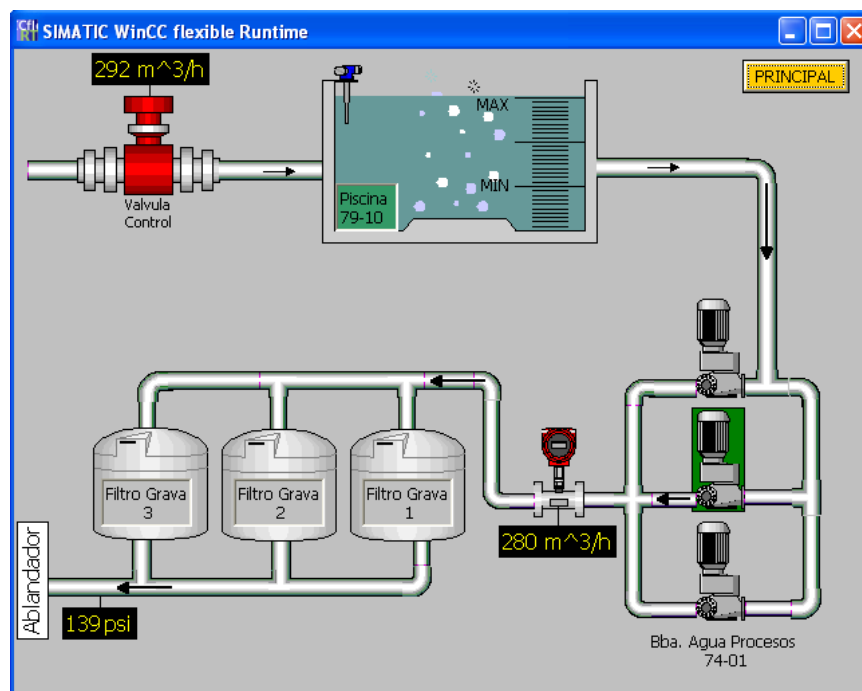


Figura 6.6. Diagrama Unifilar del Sistema Scada para el Proceso de Producción de Agua Tratada.

6.5. DIAGRAMA UNIFILAR DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE AGUA Y PASTA:

Ahora podemos observar en la gráfica (figura 6.7.) el diagrama unifilar diseñado para el proceso de Recuperación de Agua y Pasta. Las principales características de esta pantalla que representa el Sistema Scada para esta sección son:

- Se indica la dirección del flujo del agua y pasta mediante flechas hacia cada uno de los elementos constitutivos del proceso.
- El estado operativo (On-Off) de las bombas verticales de efluentes del proceso.
- El estado operativo (On-Off) de las bombas que llevan el agua y la pasta desde la salida del tanque espesador hacia los procesos especificados.
- El caudal de agua hacia el proceso y de pasta hacia el Mixer.

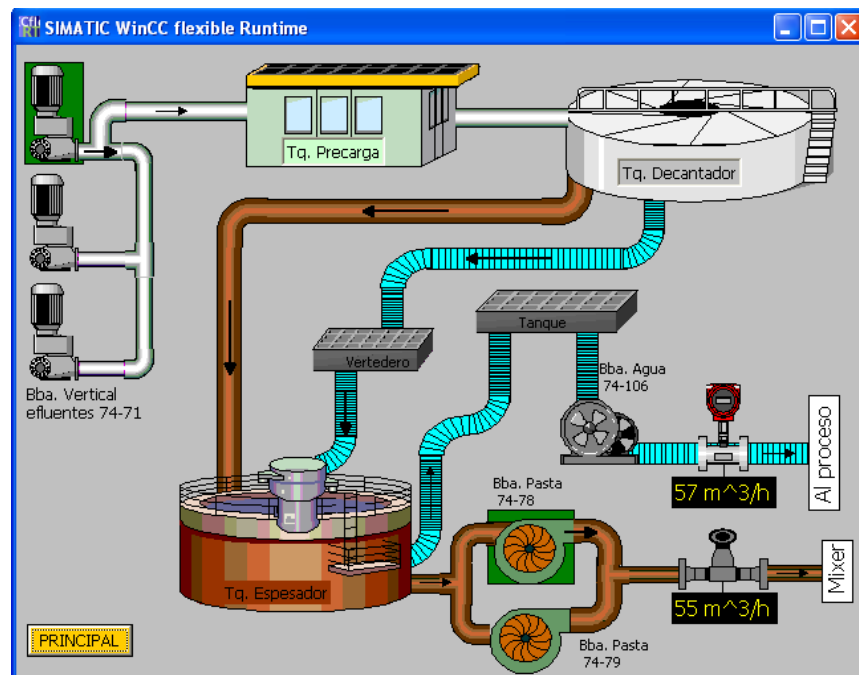


Figura 6.7. Diagrama Unifilar del Sistema Scada para el Proceso de Recuperación de Agua y Pasta.

6.6. DIAGRAMA UNIFILAR DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO:

A continuación se muestra la grafica (figura 6.8.) del diagrama unifilar diseñado para el proceso de Producción de Aire Comprimido.

Las principales características de esta pantalla que representa el Sistema Scada para esta sección son:

- Visualización directa de la presión del aire dentro del tanque pulmón.
- Identificación de la presión del aire a la salida del secador regenerativo en cada derivación, ya sea hacia Ondutec o bien hacia el Molino Papelero.

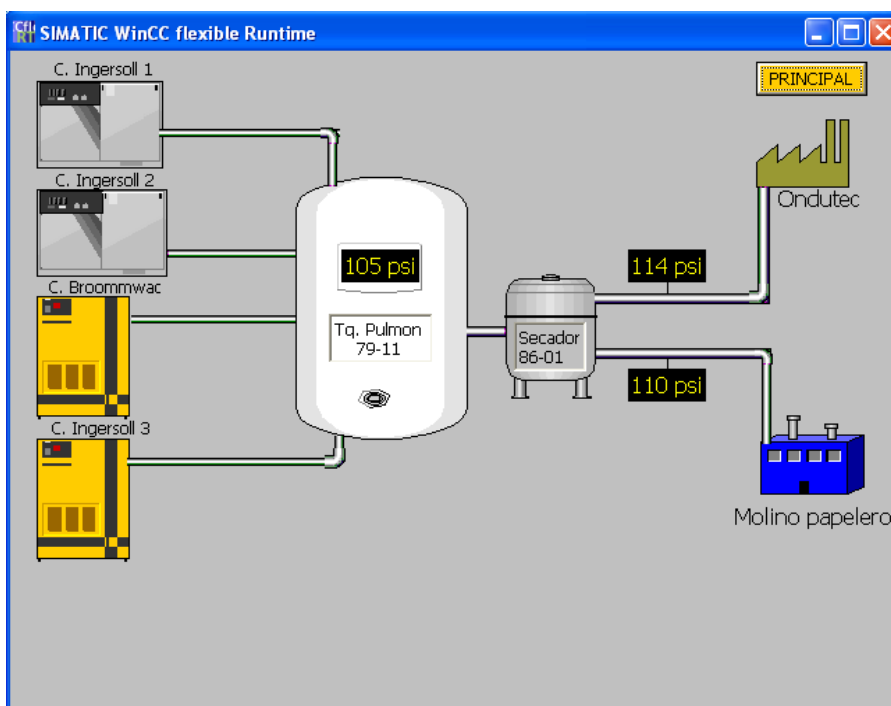


Figura 6.8. Diagrama Unifilar del Sistema Scada para el Proceso de Producción de Aire Comprimido.

En el ANEXO 2 se presenta la solución de software del sistema SCADA para la planta de fuerza de Cartopel.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES:

1. Realizado la inspección y levantamiento técnico de la planta de fuerza se seleccionó las variables a medir y controlar, conjuntamente con personal de operación y mantenimiento de la planta de fuerza de Cartopel que es a quienes les interesa monitorear y registrar para determinar la operación y funcionamiento óptimo de la planta.

2. Para el diseño del sistema SCADA se ha considerado como punto de partida los equipos y la red de comunicaciones existente de la planta, con la finalidad de utilizar la mayoría de los equipos e incluirlos dentro del diseño y no desecharlos, a fin de disminuir los costos del proyecto, considerando estos y con la finalidad de buscar equipos componentes y elementos que puedan acoplar al sistema en una sola red Industrial.

3. La propuesta de diseño del sistema SCADA realizado para el Molino Papelero Cartopel cumple con todos los objetivos planteados al inicio del proyecto, y da una idea clara a la empresa de cuáles son las ventajas que se obtendrá al implementar el presente estudio.

4. La implementación del sistema SCADA hoy en día se vuelve necesario e indispensable para enfrentar los requerimientos del consumidor.

Además brinda la posibilidad de ir a la vanguardia de los avances tecnológicos.



5. Al realizar el proyecto, los autores han tenido la oportunidad de enrolarse en el campo industrial real, aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de sus años de estudio. Para esto han desarrollado un proyecto de tesis que servirá directamente a la empresa.

6. La aplicación desarrollada en el software HMI SIMATIC WINCC flexible 2008, permite realizar una simulación del funcionamiento de los procesos de la planta de fuerza en donde se puede visualizar que:

- En el proceso de Distribución de Energía Eléctrica se observa el estado operativo de los seccionadores fusible, así también se ve la actualización de los parámetros eléctricos fundamentales tales como corriente, voltaje, potencia activa, factor de potencia y factor de carga en los transformadores.
- En el proceso de Generación de Vapor se puede ver la actualización de los datos de las temperaturas provenientes del tanque diario de combustible, del agua del tanque make-up, del bunker que ingresa a las calderas y de los gases de combustión de las calderas. También se observa el estado operativo de las bombas de bunker y de agua, además del funcionamiento de los ventiladores utilizados para toma de aire de las calderas, así como el nivel de bunker en el tanque diario de combustible.
- En el proceso de producción de Agua Tratada se destaca la válvula de control de caudal, la medición de los caudales y presión del agua, así como el estado operativo de las bombas de agua de los procesos.
- En el proceso de Recuperación de efluentes se visualiza la actualización de las variables de caudal tanto de agua como de pasta, también se visualiza el estado operativo de las bombas de agua y pasta.
- En el proceso de producción de Aire comprimido se ve la actualización de las variables de presión.



7. El costo total del proyecto es simplemente un valor referencial que se le ha hecho conocer a la empresa, ya que el mismo puede variar en función del momento de la implementación y de las decisiones y requerimientos que esta adopte.

8. Esta tesis será una herramienta de vital importancia para la implementación de este estudio, ya que presenta una guía clara, sencilla y explicativa del proyecto, incluyendo además un costo referencial muy aproximado a la realidad del valor total que tendría que invertir la empresa.

9. Aunque no se ha establecido como un objetivo específico de este proyecto, se ha visto la necesidad de realizar el diseño de los paneles de operador (pantallas HMI) mediante el software SIMATIC WINCC flexible, con el propósito de mostrar gráficamente la estructura, sus principales características y las variables monitoreadas y controladas de cada uno de los procesos de la Planta de Fuerza mediante una simulación del Sistema Scada que se pretende implementar.

10. Se han elegido cuidadosamente los componentes de Hardware y Software para este proyecto los fabricados por la compañía SIEMENS, ya que se trata de una empresa de prestigio internacional especializada en este campo que nos ofrece una solución completa, con representación técnica y comercial en Ecuador, principalmente en las ciudades de Guayaquil y Cuenca. Además, dentro del entorno industrial de la ciudad y el país, es una de las soluciones más difundidas y utilizadas dentro del ámbito de los Sistemas Scada.



7.2 RECOMENDACIONES:

Al terminar el estudio se recomienda:

1. El proyecto debería ser realizado de una manera inmediata ya que en la actualidad el gobierno está promoviendo la eficiencia energética en la industria del Ecuador, con el objetivo de crear un sistema de gestión de energía incluyendo la norma ISO 50001 y la creación de un marco regulatorio que incentive la eficiencia energética, es decir se incentivara de alguna manera a todas aquellas industrias que demuestren un manejo eficiente en su consumo energético, esto implica el mejoramiento de sus instalaciones, introducción en sus procesos equipos de última tecnología ya existentes en nuestro mercado para mejorar los procesos productivos (PLC's, variadores, arrancadores suaves, motores eficientes, medidores con comunicación, sistema de presión constante, etc.).
2. En el proceso de distribución de energía eléctrica se recomienda realizar un estudio de prefactibilidad sobre la construcción de una subestación para la planta de fuerza, ya que en la actualidad existen muchos transformadores y esto implica pérdidas técnicas y altas planillas del consumo de energía además mensualmente la empresa es penalizada por factor de potencia, causado por la reactancia de los transformadores.
3. Realizar la reparación y/o adquisición del grupo diesel de generación de energía eléctrica ya que es indispensable su funcionamiento en caso de emergencias y falta de suministro eléctrico.



4. En este sistema SCADA se puede agregar más módulos, pues se trata de una red Ethernet, por lo cual se recomienda colocar en el departamento de superintendencia de mantenimiento y en la sección de las calderas un panel SIMATIC HMI, ya que es importante tener en tiempo real el valor de las magnitudes monitoreadas y así exista una coordinación más eficiente entre este departamento y el personal encargado de la planta de fuerza.
5. Se recomienda la posibilidad de implementar una instrumentación remota en la sección de las calderas de la planta de fuerza debido a que en esta sección existen altas temperaturas y un alto grado de interferencia para las señales eléctricas analógicas y digitales, y así evitar la generación y transporte de datos erróneos de las variables medidas que puedan afectar el buen funcionamiento del proceso de generación de vapor.
6. La planta de fuerza de Cartopel en la actualidad posee un sistema de adquisición de datos, pero la empresa es únicamente dueña del hardware y esto implica que en una falla de software la planta de fuerza quede sin este sistema; por esta razón se recomienda que al realizar un proyecto como el presentado en este trabajo, se incluya la adquisición de las licencias de los programas y software al igual que la codificación de los programas.
7. Una vez concluido este proyecto se recomienda a la Universidad de Cuenca y a la Empresa Cartopel, establecer más convenios, a fin de que se realicen mas proyectos como temas de tesis de graduación, además es necesario que en el corto plazo se realicen convenios de pasantías de modo que exista un beneficio mutuo entre las dos entidades, es decir los estudiantes pueden adquirir más



conocimientos prácticos sobre el campo industrial y la empresa beneficiarse de los mismos.

8. Al iniciar este proyecto de tesis se observó que los conocimientos sobre este tema eran muy reducidos; por lo que se recomienda a las autoridades correspondientes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica incluir en el pensum de estudios una asignatura que abarque todo sobre el sistema SCADA en las industrias, de manera que los estudiantes puedan desenvolverse sin problemas en el campo laboral e industrial.



BIBLIOGRAFÍA:

- [1] PENÍN, AQUILINO. “*Sistemas SCADA-2ª Edición*”, Editorial Alfaomega, Marcombo S.A., Barcelona (España), 2007.
- [2] GUERRERO, VICENTE. YUSTE, RAMÓN. MARTÍNEZ, LUIS. “*Comunicaciones Industriales*”, Editorial Alfaomega, Marcombo S.A., Barcelona (España), 2009.
- [3] BALCELLS, JOSEP. ROMERAL, LUIS. “*Automatas Programables*”, Ediciones Marcombo S.A., Barcelona (España), 1997.
- [4] BOYER, S.A. “*SCADA: Supervisory Control and Data Adquisition*”. Paperback, 2003.
- [5] BAILEY, DAVID. WRIGHT, EDWIN. “*Practical SCADA for Industry*”. IDC Technologies. London, England 1a. Ed. 2003.
- [6] *Controlador programable S7-1200,378 Manual de sistema, 11/2009, A5E02486683-02, SIEMENS AG 2009.*
- [7] WinCC flexible 2008 Micro Manual del usuario, 07/2008, 6AV6691-1AA01-3AE0, SIEMENS AG 2008
- [8] VICENÇ GUERRERO. “*Primeros pasos en Win CC flexible*”. IES PALAU AUSIT, España 2007



REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- [1] SENTRON PAC3200 Manual de producto, 02/2008 disponible en:
<http://www.caroligualada.es/Documentos/manual%20sentron.pdf>
- [2] Transformadores de instrumentos, manual del producto disponible en:
<https://www.support.automation.siemens.com>
- [3] Catálogo del SITRANS F M MAGFLO MAG 5100W disponible en:
http://www.sargent.biz/pdf/producto495_MAGFLO%205100W.pdf
- [4] Catálogo medidor de caudal OCM III disponible en:
http://www.lesman.com/unleashd/catalog/sensors/sensors_ocm3.html
- [5] Catálogo de válvula reguladora de caudal Hidromodul disponible en:
<http://www.euromag.it>
- [6] Catálogo del transmisor de presión SITRANS P, serie Z, disponible en:
<http://www.dastecsrl.com.ar/images/pdf/Sitrans%20P%20Z.pdf>
- [7] Manual del medidor de caudal SITRANS F M TRANSMAG 2, disponible en:
<http://www.automation.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/sc/pi/Documentsu20Brochures/E20001-A400-P730-X-7800.pdf>
- [8] Manual del medidor digital SITRANS TF2, disponible en:
http://www.sargent.biz/pdf/producto462_SITRANS%20TF2.pdf
- [9] Catálogo del transmisor SITRANS TH100, disponible en:
http://www.automation.siemens.com/scstatic/catalogs/catalog/pi/FI01/es/FI01_es_kap03.pdf



[10] Manual del Sensor de nivel ultrasónico Pointek CLS 100, disponible en:

<http://www.dastecsrl.com.ar/images/pdf/POINTEK%20CLS-100.pdf>

[11] Catálogo del PLC S7-1200, disponible en:

<https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>



ANEXOS

