

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“MEJORA DE LA CONFIABILIDAD
OPERATIVA DE LA CENTRAL
HIDROELECTRICA CHIMAY POR CAMBIOS
EN LA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL”**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

HECTOR KENNETH LOJA LOJA

PROMOCION 2002-II

LIMA-PERU

2006

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Julio y Casilda, que gracias a su esfuerzo y dedicación me apoyaron y guiaron para alcanzar mis metas y objetivos.

III

TABLA DE CONTENIDOS

Prólogo.....	1
1. Introducción	3
2. Fundamentos de automatización y control	5
2.1 Generalidades	5
2.1.1 Introducción	5
2.1.2 Definiciones en control	5
2.1.3 Clases de instrumentos	7
2.2 Sensores y medidores industriales	8
2.2.1 Introducción	8
2.2.2 Medida de presión	8
2.2.3 Medida de temperatura	10
2.2.4 Medida de caudal	12
2.2.5 Medida de nivel	13
2.2.6 Medida de otras variables	14
2.3 Control de procesos	15
2.3.1 Introducción	15
2.3.2 Características del proceso	16
2.3.3 Sistemas de Control	17
2.3.4 Criterios de estabilidad.....	20
2.3.5 Otros tipo de control	21
2.4 Controladores de procesos industriales	22
2.4.1 Introducción	22
2.4.2 Comunicaciones	23
2.4.3 Computadoras industriales e interfaces de operador	23
2.4.4 Redes con PLC	24
2.5 Redes Industriales	27
2.5.1 Introducción	27

IV

2.5.2	Estructura de redes	27
2.5.3	Administración de redes	30
2.5.4	Transmisión de señal	30
2.5.5	Chequeo de errores	30
2.5.6	Sistemas abiertos y cerrados	31
2.5.7	Modelo de interconexión de sistemas abiertos	31
2.5.8	Integración	31
2.6	Protocolos de comunicación	32
2.6.1	Introducción	32
2.6.2	Ventajas de la comunicación digital	32
2.6.3	Protocolo Hart	33
2.6.4	Sistemas de buses de campo	33
3.	Sistemas de control	35
3.1	Introducción	35
3.2	Sistemas cableados	35
3.2.1	Sistema cableado eléctrico	35
3.2.2	Sistema con tarjetas o módulos electrónicos	39
3.2.3	Características	41
3.3	Sistemas programados	41
3.3.1	Lógica programada	42
3.3.2	Características	43
3.4	Evaluación sistemas de control	44
3.4.1	Características principales	44
3.4.2	Características secundarias	45
3.4.3	Ponderación de características	46
3.4.4	Evaluación según sistemas	46
4.	Evaluación del sistema de control de la C.H. Chimay	48
4.1	Introducción	48
4.2	Descripción del sistema de control	50

4.2.1	Sistema de lógica programada	50
4.2.2	Sistema de lógica cableada	52
4.2.3	Sistema de supervisión y adquisición de datos	59
4.3	Evaluación de la operatividad de la central	59
4.3.1	Descripción del área de mantenimiento	59
4.3.2	Evaluación de fallas	60
4.3.3	Estimación del factor de disponibilidad	71
4.4	Evaluación del sistema de control	73
4.4.1	Identificación de características principales	73
4.4.2	Identificación de características secundarias	74
4.4.3	Ponderación de características	75
4.4.4	Evaluación final del sistema	76
4.5	Estimación de lucro cesante	76
5.	Rediseño del sistema de control de la C.H. Chimay	82
5.1	Introducción	82
5.2	Rediseño del sistema	82
5.2.1	Modificación del sistema de lógica cableada	82
5.2.2	Modificación del sistema de lógica programada	85
5.2.3	Modificación del sistema de supervisión y adquisición de datos	89
5.3	Evaluación del nuevo sistema de control	92
5.3.1	Identificación de características principales	92
5.3.2	Identificación de características secundarias	94
5.3.3	Ponderación de características	95
5.3.4	Evaluación del final del sistema	95
5.4	Evaluación de la operatividad de la central	96
6.	Evaluación económica del rediseño del sistema de control	99
6.1	Cálculo de la inversión	99
6.1.1	Estimación del equipamiento requerido para implementación	

del nuevo sistema de mando y control	99
6.1.2 Estimación del servicio de instalación, programación y licencias de software	102
6.2 Cálculo del beneficio total	102
6.3 Indicadores económicos	103
6.3.1 Cálculo del VAN	103
6.3.2 Cálculo del TIR	104
Conclusiones	105
Bibliografía.....	107
Planos	109
Anexos	129

PRÓLOGO

El motivo del estudio se basa en una evaluación de las fallas presentadas en la Central Chimay durante el periodo 2003-2005, fallas que se han presentado en los diversos sistemas de la central y que han tenido mayor repercusión en el sistema de mando y control, debido a estas fallas se han tenido desconexiones de la central y por ende pérdidas de producción. Esta finalmente ha repercutido en diversos factores que afecta la confiabilidad operativa de la central. El enfoque presentado se basa en información proporcionada por la empresa EDEGEL S.A.A., durante el periodo en el cual se esta realizando el análisis.

En el primer capítulo se realiza una introducción del trabajo y muestra los motivos por los cuales se ha realizado una evaluación técnico económica del sistema de mando y control actual.

En el segundo capítulo se desarrolla los fundamentos de automatización y control, se hace una descripción de todos los conceptos y componentes principales para desarrollar un diseño de un sistema de mando y control, empezando con los instrumentos de campo y llegando finalmente hasta los componentes principales encargados del control.

En el tercer capítulo se presenta la evolución de los sistemas de control partiendo desde la lógica cableada hasta los sistemas actuales, en este capítulo se van a definir términos que servirán de sustento para determinar que tipo de control es adecuado para un sistema desde el mas simple hasta el mas complejo.

El cuarto capítulo presenta la evaluación de las fallas de la central hidroeléctrica Chimay y mediante un análisis de Pareto encontramos que el sistema de mando y control no es el adecuado para la central. Seguidamente se detalla el estado actual del sistema, su modo de funcionamiento, las fallas presentadas, los costos por pérdida de producción, y los índices de disponibilidad que se tienen durante el periodo de análisis. Se realiza un análisis de las causas que ocasionan las fallas para después determinar que parte del sistema actual necesita ser rediseñado. Usando los criterios definidos en el capítulo 3, estimamos una ponderación y así compararla con el nuevo sistema que se desea implementar.

El quinto capítulo desarrolla el rediseño del sistema de mando y control, la nueva configuración del sistema y su funcionamiento, se usa los criterios presentados en el capítulo 3 para establecer su ponderación y realizar la comparación final con el sistema actual. Seguidamente se estima los índices de disponibilidad que se podrían alcanzar con el nuevo sistema para luego ser comparados con los obtenidos con el sistema actual durante el periodo de análisis.

El sexto capítulo presenta la evaluación económica de la implementación de este nuevo sistema, se realiza un requerimiento básico del equipamiento necesario para la implementación, se establecen los costos por el rediseño y finalmente se calculan los indicadores económicos para verificar la viabilidad del proyecto.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo es rediseñar el sistema de control de la central hidroeléctrica Chimay y determinar así el incremento de la confiabilidad operativa de ésta.

El presente informe desarrolla el estudio del rediseño del sistema de mando y control de la central hidroeléctrica Chimay, el estudio se basa en un enfoque proactivo del mantenimiento durante la operación de la central y sobre un análisis del tipo operacional, para definir así la mejor opción dentro del rediseño del sistema y finalmente estimar los beneficios del presente estudio.

El motivo del estudio se basa en las fallas presentadas en la lógica cableada, fallas que implican la participación de componentes intermedios como: reles, borneras, cableado. Los cuales han resultado en la presentación de diversas fallas como las pérdidas de producción de la central por un disparo, la indisponibilidad de la maquina, lo que ha significado una baja confiabilidad en la operación de la central.

La operación continua de la central obliga a tener una alta confiabilidad en el sistema de mando y control, para lo cual en el desarrollo del estudio se contemplara el desarrollo de un sistema confiable y acorde al funcionamiento de la central, basados también en la experiencia operativa de la central.

Mejorar la capacidad de modificación del sistema de mando y control, debido a que durante la operación de la central se han encontrado deficiencias en la lógica cableada, lo que ha

implicado un proceso de mejora continua de estas, lo que al final ha originado diversas paradas de la planta generando una indisponibilidad de esta.

Mejorar la capacidad de expansión del sistema de mando y control, debido a que en la vida de la central se han realizado diversas instalaciones nuevas y para ser integradas se han realizado modificaciones a las lógicas de control generando paradas de planta y altos costos de implementación

El alcance del presente enfoque se limita a determinar las características básicas, operativas y funcionales que se tendrá con el nuevo sistema de mando y control, se muestra las pautas necesarias para realizar el rediseño en la lógica cableada, lógica programada y en el sistema de adquisición de datos. La cual estará acorde a la tecnología actual existente.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 Introducción

La *automatización* es un sistema donde se transfieren tareas de un proceso productivo, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Debido al grado de complejidad de los procesos se hace más necesaria la automatización de estos, por lo mismo que se requieren magnitudes más exactas que ahora van acorde a estándares de calidad.

2.1.2 Definiciones en control

Los instrumentos de control tienen su propia terminología, estos términos definen las características propias de medida y control y las estáticas y dinámicas de los diversos instrumentos utilizados. Estas terminologías han sido unificadas con el fin de emplear el mismo lenguaje.

2.1.2.1 Campo de medida (Rango)

Conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida del instrumento.

2.1.2.2 Alcance (Span)

Diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento.

2.1.2.3 Error

Diferencia algebraica entre el valor leído por el instrumento y el valor real de la variable medida.

2.1.2.4 Incertidumbre

Dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida.

2.1.2.5 Exactitud

Cualidad del instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud medida.

2.1.2.6 Precisión

Tolerancia de medida del instrumento (intervalo donde es admisible que se sitúe la magnitud de medida).

2.1.2.7 Zona Muerta

Campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o señal de salida del instrumento, es decir, que no produce su respuesta.

2.1.2.8 Sensibilidad

Razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que la ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo.

2.1.2.9 Repetibilidad

Capacidad de reproducción de las posiciones de la señal de salida del instrumento al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación, en todo el campo.

2.1.2.10 Histéresis

Diferencia máxima observada en los valores indicados por el índice o la pluma del instrumento para el mismo valor, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente.

2.1.3 **Clases de instrumentos**

Estos se clasifican según la función del instrumento y según la variable del proceso.

2.1.3.1 **En función del instrumento**

Se presentan los siguientes casos:

- *Instrumentos ciegos.* Son aquellos que no tienen indicación visible de la variable.
- *Instrumentos Indicadores.* Disponen de un índice y de una escala graduada en la que puede leerse el valor de la variable.
- *Instrumentos Registradores.* Registran con trazo continuo o a puntos la variable, pueden ser circulares, rectangular, o digital.
- *Los Elementos Primarios.* Aquellos que están en contacto con la variable dan al sistema de medición una indicación de la variación de la variable controlada.
- *Los Transmisores.* Captan la variable del proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia en forma de señal neumática (3-15psi) o electrónica (4-20mA DC).
- *Los Convertidores.* Reciben la señal de entrada neumática o electrónica, la modifican y la envían en forma de señal estándar.
- *Los Controladores.* Comparan la variable controlada con un valor deseado y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la desviación.
- *Elemento Final de Control.* Recibe la señal del controlador y modifica el agente de control.

2.1.3.2 **En función de la variable de proceso**

De acuerdo a esta división los instrumentos se dividen en instrumentos de presión, temperatura, caudal, nivel, densidad, etc. Esta división corresponde específicamente al tipo de las señales medidas siendo independiente del sistema empleado en la conversión de la señal de proceso.

2.1.3.3 Código de identificación de instrumentos

Para designar y representar los instrumentos de medición y control se emplean normas muy variadas que a veces varían de industria en industria. En ese sentido se ha dirigido esfuerzos para establecer estas, la ISA (Instrument Society of America) ha establecido sistemas de designación (código y símbolo). Estas son las normas **ISA-S5.1-84**, **ISA-S5.2-76** y **ISA-S5.3**

2.2 **SENSORES Y MEDIDORES INDUSTRIALES**

2.2.1 Introducción

Ningún sistema de control por mas moderno que sea, será efectivo si no se conocen con exactitud los valores de las variables de los diversos procesos industriales. El sensor, sensa el valor de la variable controlada, y el transmisor cambia este valor en una señal normalizada que puede ser transmitida. Esta señal es usada por otros componentes del sistema o proceso para registro, indicación, control, etc.

2.2.2 Medida de presión

La presión se define como la fuerza ejercida por unidad de superficie y tiene como unidades Kg/cm^2 , psi, bar, atmósferas y otras.

Para las medidas de presión se cuenta con los siguientes dispositivos:

2.2.2.1 Dispositivos de balanza de gravedad

Miden presiones, balanceándolas contra la fuerza gravitacional de líquidos. Dentro de las más usadas se encuentran los tubos en "U", los de tubo inclinado, los de cubeta y los de cubeta tubo inclinado. El líquido manométrico utilizado es el mercurio y para presiones bajas se usa el agua.

2.2.2.2 Elementos de deformación elástica

Miden presiones alterando su forma cuando son sometidos a presión. En esta categoría se tienen los tubos de Bourdon (en "C", en espiral, helicoidal), en donde la forma y tipo de material definen el rango de aplicación: se utilizan también los denominados diafragmas, capsulas y fuelles, usadas para presiones mas bajas que los tubos de Bourdon. Las aplicaciones para los manómetros de Bourdon se muestran en la fig. 2.0.

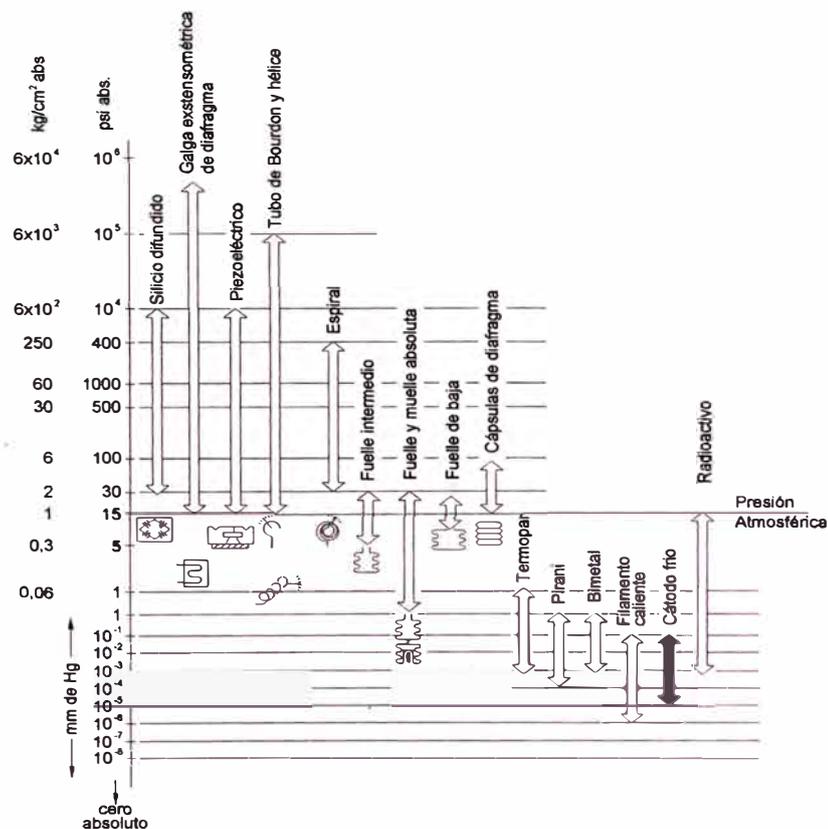


Figura 2.0 – Aplicaciones de los manómetros de Bourdon

2.2.2.3 Transductores eléctricos de presión

Estos se dividen en:

- **Tipo Resistivo.** Consisten de un elemento elástico (tubo de Bourdon o capsula) que varia la resistencia ohmica de un potenciómetro en función de la presión.
- **Tipo magnéticos.** Están los de inductancia variable, aquellos que el desplazamiento de un núcleo móvil dentro de una bobina aumenta la

inductancia de ésta en forma proporcional a la porción metálica del núcleo contenida dentro de la bobina.

Los de reluctancia variable, consiste de un imán permanente que crea un campo magnético dentro del cual se mueve una armadura de material magnético.

- *Tipo Capacitivo.* Se basa en la variación de la capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de las placas por la aplicación de presión.
- *Tipo Piezoeléctricos.* Son hechos de materiales cristalinos que al deformarse por la acción de una presión generan una señal eléctrica.
- *Galgas extensiométricos.* Se basan en la variación de longitud y de diámetro, y por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de presión.

2.2.3 Medida de temperatura

La temperatura se define como el grado de “caliente” o “frío” medido en una escala determinada y que es consecuencia de la actividad molecular.

2.2.3.1 Escalas de temperatura

Hacen posible medir e identificar el nivel de calor cuando un cambio en el estado o condición de la sustancia, como al congelarse, derretirse o vaporizarse. Las usadas son: Fahrenheit y Centígrada, tienen alcances de 180°F y 100°C respectivamente, entre los puntos de ebullición y congelación del agua. También se tiene las escalas Ranking y Kelvin que toman como referencia el cero absoluto.

2.2.3.2 Dispositivos medidores de temperatura

Utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran variación de volumen o en estado de los cuerpos, variación de

resistencia de un conductor, de un semiconductor, fuerza electromotriz entre dos metales distintos. Los detallamos a continuación:

- *Termómetro de vidrio.* Usan sustancias minerales que se contraen o expanden cierta cantidad por cada grado de cambio de temperatura. Usan el principio de expansión térmica.
- *Termómetro Bimetálico.* Se basa en el principio de que los metales tienen diferente coeficiente de expansión térmica. Al soldar dos metales diferentes formando una espiral, cuando este es calentado tiende a desenrollarse debido a la diferente expansión térmica de cada aleación.
- *Termocuplas.* Se basa en el principio de que cuando se aplica calor a una junta de dos metales distintos, se genera una fuerza electromotriz (fem), la cual se puede medir en la otra junta (fría) de estos dos metales (conductores). Las termocuplas se utilizan para medir temperatura en forma exacta con propósitos de indicación, registro o control de procesos. Dependiendo del material de los conductores adquieren diferentes denominaciones: Tipo J (Hierro-Constantan), tipo K (Cromel-Alumel), tipo T (Cobre-Constantan), tipo E (Cromel-Constantan).
- *Termómetros de Resistencia.* Se basan en el aumento de resistencia de un hilo conductor con el incremento de la temperatura. La magnitud del cambio de resistencia con respecto al cambio de temperatura se denomina "coeficiente térmico de resistencia". Reciben el nombre de Pt-100 que significa que para una temperatura de 0°C tiene una resistencia de 100ohmios. Los materiales usados son el platino, níquel, cobre, níquel-hierro y tungsteno.
- *Termistores.* Son semiconductores hechos de carbón, germanio, silicio y mezclas de ciertos óxidos metálicos, que exhiben coeficientes de temperatura elevada, usualmente negativos (NTC). Su característica es no lineal y exhiben los cambios más grandes en rangos de temperatura

criogénicos por debajo de 100°K. Su resistencia es una función de la temperatura absoluta.

- *Pirómetros de Radiación.* Son dispositivos que miden la temperatura por encima del rango aplicable a la termocuplas. Los pirómetros de radiación dan una lectura analógica de la temperatura de un cuerpo, sensando la intensidad de radiación de una banda de frecuencias. Los pirómetros ópticos, a diferencia de los anteriores, captan solo una parte de la radiación del cuerpo caliente.

2.2.4 Medida de caudal

Para medir flujos, en la mayoría de ellos, es imprescindible el conocimiento de algunas características básicas de los fluidos. Estas características incluyen la viscosidad, densidad, gravedad específica, compresibilidad, temperatura y presión.

2.2.4.1 Medidores de presión diferencial

Aquellos que originan una presión diferencial debido al paso de un fluido por una restricción. El caudal es proporcional a la raíz cuadrada de la diferencia de presiones entre dos puntos, antes y después de la restricción. Entre los usados esta la placa-orificio, el tubo Venturi y tubo Pitot.

2.2.4.2 Medidores de área Variable

Son aquellos en los cuales la presión diferencial permanece constante, gracias a la suficiente variación del área. Entre los mas usados esta el rotámetro.

2.2.4.3 Medidores Magnéticos

Consiste en la colocación de un tubo aislado eléctricamente con un par de electrodos montados a ambos lados del tubo rasantes con el fluido. Se colocan unas bobinas alrededor del tubo de modo tal de generar un campo magnético en un plano perpendicular. Tanto al eje del cuerpo del medidor

como al plano de los electrodos. La señal de voltaje de salida es proporcional a la velocidad promedio del fluido, no interesa si este es laminar o turbulento. Además es independiente de la viscosidad, densidad, temperatura y presión.

2.2.4.4 Medidor de turbina

Consiste de una rueda de turbina de precisión montada en cojinetes de una porción de la tubería en ángulo recto a la turbina. El paso de cada hoja, al cortar el campo magnético produce un pulso eléctrico cuya frecuencia determina la velocidad del fluido.

2.2.4.5 Medidores de flujo total

Dentro de estos se tienen a los medidores de desplazamiento positivo, los cuales separan la corriente de flujo en incrementos volumétricos individuales y cuentan dichos incrementos. Entre los más utilizados figuran los de disco oscilante, pistón oscilante, cicloidal, oval.

2.2.5 Medida de nivel

Se clasifican en dos grupos generales: directos e indirectos.

2.2.5.1 Medición directa

Los cuales aprovechan la variación de nivel del material para obtener la medición.

- *Nivel de Vidrio.* Permite solo una indicación local, la ventaja principal es la gran seguridad que ofrece en la lectura del nivel del líquido pudiendo controlar con ellos la lectura de los otros tipos de aparatos de nivel.
- *Instrumentos de flotador.* Consiste de un flotador situado en el seno del líquido y conectado al exterior del tanque indicando directamente el nivel. La conexión puede ser directa, magnética o hidráulica.
- *Sondas eléctricas.* Son las que emplean métodos conductores, capacitivos y ultrasónicos para la medición de nivel.

La sonda conductiva se asemeja a una bujía. Estos dispositivos son usados en líquidos conductores.

El método capacitivo utiliza una sonda como una de las placas de un condensador, siendo la otra placa el contenedor mismo. El material entre ellos viene a ser el dieléctrico.

Los medidores tipo ultrasonido, generan una señal a una frecuencia de unos 20kHz y la interrupción o detección de la señal generada es la base para una acción de control; en mención continua, se mide el tiempo transcurrido entre la emisión de la señal y la recepción de la reflejada.

2.2.5.2 Medición Indirecta

Los cuales usan una variable, tal como presión, que cambia con el nivel del material.

- *Presión Hidrostática.* Consiste en medir la presión en el nivel cero del contenedor de líquido, cualquier incremento de nivel causa un aumento en la presión hidrostática.
- *Presión Diferencial.* Utiliza un transmisor de presión diferencial o d/p cell, el nivel es proporcional a la diferencia de presiones que existe entre la toma baja y alta del equipo en el tanque a controlar.
- *Dispositivos Radioactivos.* Pueden ser usados para medición discreta o continua de nivel. Se usan cuando la situación no permite la instalación de elementos primarios dentro del recipiente de almacenamiento.
- *Celdas de Carga.* Basadas en galgas extensiométricas. A medida que las celdas son comprimidas por el peso del material dentro del recipiente, cambia la resistencia de las galgas y por lo tanto varía la señal eléctrica a la salida del puente de Wheatstone usado en la medición.

2.2.6 Medida de otras variables

Consiste en medir otras variables como propiedades físicas o químicas que son necesarias en procesos de producción continuas, algunas de ellas son:

2.2.6.1 Densidad

La forma más simple de medir densidad de líquidos es el hidrómetro, el cual es un instrumento flotante que desplaza un volumen de líquido igual a su propio peso. También se mide densidad de fluidos, pesando un volumen dado de líquido con una balanza mecánica o una celda de carga.

2.2.6.2 Viscosidad

Los medidores más usados son los de bola y de pistón. En el primero se mide el tiempo requerido de la bola en caer cierta distancia dentro del líquido, el tiempo es proporcional a la viscosidad. En el caso del pistón, se mide el tiempo que toma el mismo para caer cierta distancia en un cilindro conteniendo la muestra del líquido, estos emplean un mecanismo para elevar el pistón luego de la caída.

2.2.6.3 Acidez o Alcalinidad

La medición de pH requiere de dos electrodos diseñados específicamente. Uno de ellos produce un cambio de voltaje (fem) cuando cambia el pH de una solución en la que se está inmerso. El otro electrodo, mantiene un voltaje constante (fem) al estar sumergido en una solución de referencia.

2.2.6.4 Cromatografía

Es el nombre dado al método de análisis que permite una medida continua de la cantidad de cada constituyente en un vapor complejo o mezcla de gaseosa.

2.2.6.5 Conductividad eléctrica

Se puede medir esta variable sumergiendo un par de electrodos de área conocida, separados una cierta distancia y midiendo luego la resistencia entre ambos.

2.3 CONTROL DE PROCESOS

2.3.1 Introducción

En los inicios de la era industrial, el control de los procesos se llevó a cabo mediante tanteos basados en la intuición y en la experiencia acumulada. Mas

tarde, el mercado exigió mayor calidad en las piezas fabricadas lo que condujo al desarrollo de teorías para explicar el funcionamiento del proceso.

2.3.2 Características del proceso

El bucle típico esta formador por el proceso, el transmisor, el controlador y el elemento final de control.

2.3.2.1 El proceso

Es un sistema que ha sido desarrollado para llevar a cabo un objetivo determinado, realiza transformaciones materiales mediante una serie de operaciones. Los procesos presentan dos características principales:

Los cambios en la variable controlada debido a alteraciones en las condiciones del proceso y llamado generalmente cambios de carga.

El tiempo necesario para que la variable del proceso alcance un nuevo valor al ocurrir un cambio de carga. Este retardo se debe las propiedades del proceso: capacitancia, resistencia y tiempo de transporte.

2.3.2.2 El controlador

Realiza dos funciones esenciales:

Compara la variable medida con el punto de consigna para determinar así el error.

Estabiliza el funcionamiento dinámico del bucle de control mediante circuitos especiales para reducir o eliminar el error.

2.3.2.3 El transmisor

Es el elemento que se encarga de medir y transmitir las variables que se están controlando en el proceso, estos son los denominados sensores y/o medidores.

2.3.2.4 El elemento final de control

Son aquellos elementos cuya función principal es la de regular las condiciones con la cual trabaja la variable controlada, según la señal de error que le envía el controlador.

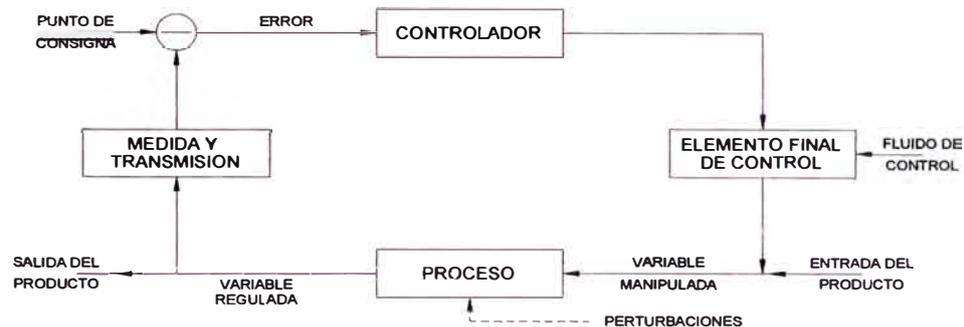


Figura 2.1 – Bucle de control

2.3.3 Sistemas de control

En la industria se emplean los siguientes sistemas de control:

2.3.3.1 Control On – Off

En la cual el elemento final de control se mueve rápidamente entre una de dos posiciones fijas a la otra, para un valor único de la variable controlada. Este tipo de control se emplea con una banda diferencial o zona neutra en la que el elemento final de control permanece en su última posición para valores de la variable comprendidos dentro de esta. El control On-Off funciona adecuadamente si el proceso tiene una velocidad de reacción lenta y posee un tiempo de retardo mínimo.

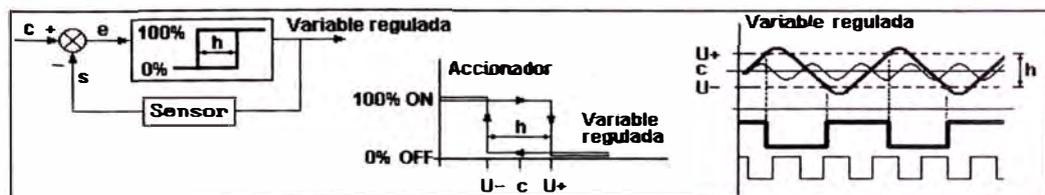


Figura 2.2 – Control On-Off

2.3.3.2 Control flotante

Se denomina realmente control flotante de velocidad constante, este control mueve el elemento final de control a una velocidad única independiente de la desviación. La ventaja principal es que puede compensar los cambios de carga lentos del proceso desplazando gradualmente la posición de la válvula. Sin embargo, no es adecuado si hay un retardo importante o si los cambios de carga, aunque sean pequeños, son muy rápidos.

2.3.3.3 Control proporcional de tiempo variable

En este existe una relación predeterminada entre el valor de la variable controlada y la posición media en tiempo del elemento final de control de dos posiciones. La longitud de un ciclo completo (conexión + desconexión) es constante pero la relación entre los tiempos de conexión a desconexión dentro de cada ciclo varía al desviarse la variable controlada del punto de consigna. Este tipo de control se emplea solo en controladores eléctricos.

2.3.3.4 Control Proporcional

Existe una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control. Es decir el elemento final de control se mueve el mismo valor por cada unidad de desviación. La ganancia (K_C) del controlador proporcional es la relación entre la variación de la señal de salida y el error que la produce.

La salida que se obtiene de este control es:

$$m = K_C e$$

Donde: m: salida del controlador

e: error

K_C : ganancia proporcional

La banda proporcional (BP%) es el porcentaje de variación de la variable controlada necesaria para provocar una carrera completa del elemento final de control.

$$BP\% = 100\% / K_C$$

2.3.3.5 Control proporcional + integral

Aquí el elemento final de control se mueve de acuerdo con una función integral en el tiempo de la variable controlada. La acción integral viene definida por el denominado “tiempo de acción integral”, que es el intervalo de tiempo en que, ante una señal de entrada de escalón, la parte de la señal de salida debida a la acción integral iguala a la parte debida a la acción proporcional.

La respuesta que se obtiene de este control se puede expresar como:

$$m = K_C [e + K_I \int e dt]$$

Donde: m: salida del controlador

K_I : constante integrativa

t: tiempo

2.3.3.6 Control proporcional + derivativo

Aquí existe una relación lineal continua entre la velocidad de variación de la variable controlada y la posición del elemento final de control, es decir el movimiento de este es proporcional a la velocidad de cambio de la variable. Se expresa la acción derivada en “minutos de anticipo” que representan el tiempo en minutos con que la acción derivada se anticipa al efecto de la acción proporcional en el elemento final de control.

La respuesta obtenida de este control se expresa como:

$$m = K_C [e + T_D (de / dt)]$$

Donde: m: salida del controlador

T_D : constante integrativa

t: tiempo

2.3.3.7 Control proporcional + integral + derivativo

Este es la suma de realizar las tres acciones definidas anteriormente, este tiene su aplicación en procesos difíciles de controlar.

La respuesta de esta acción se expresa como:

$$m = K_C [e + K_I \int e dt + T_D (de / dt)]$$

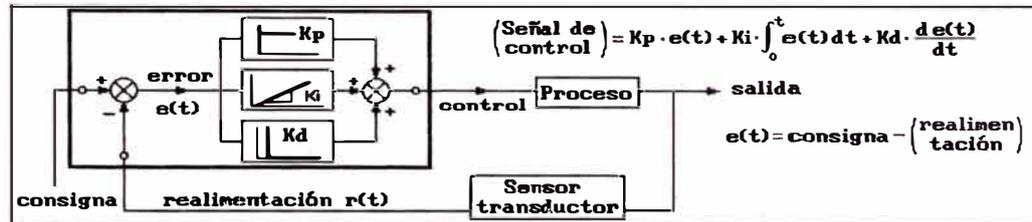


Figura 2.3 – Control proporcional integrativo derivativo (PID)

2.3.4 Criterios de estabilidad

La estabilidad es característica del sistema que hace que la variable vuelva al punto de consigna después de una perturbación.

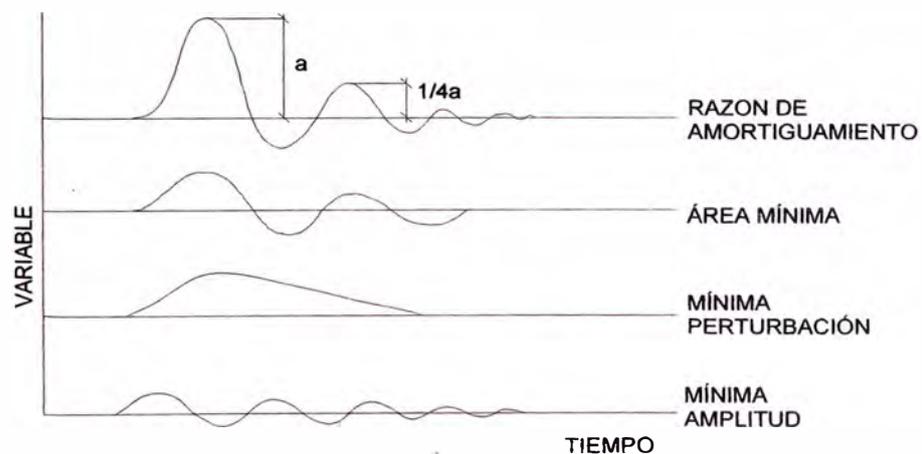


Figura 2.4 – Criterios de estabilidad

2.3.4.1 Razón de amortiguamiento

La amortiguación de la respuesta debe ser tal que la relación de amplitudes entre las crestas de los dos primeros ciclos sucesivos es 0,25, es decir, que cada onda equivale a la cuarta parte de la anterior.

2.3.4.2 Área mínima

Este criterio indica que el área de la curva de recuperación debe ser mínima, para lograr que la desviación sea mínima en el tiempo mas corto.

2.3.4.3 Mínima perturbación

Este requiere de una curva de recuperaciones no cíclicas, y se aplica cuando la variación del elemento final de control puede influir en la variable controlada y finalmente en otros procesos alimentados por la misma variable.

2.3.4.4 Amplitud mínima

La amplitud de desviación debe ser mínima, esta se aplica a procesos en que el producto o equipo puede ser dañado por las desviaciones momentáneas excesivas, y en este caso la magnitud de la desviación es más importante que su duración.

2.3.5 Otros tipos de control

Se ha generalizado la aplicación de otras técnicas de control que son variantes o completan las P, PI o PID, o constituyen otro enfoque. Se mencionan a continuación.

2.3.5.1 Control en Cascada

Se usa para mejorar la estabilidad de un circuito complejo. Su utilización es conveniente cuando la variable controlada no puede mantenerse dentro del punto de consigna, por óptimos que sean los ajustes del controlador, debido a las perturbaciones que se producen en alguna condición del proceso. Esta técnica usa dos sistemas de medición y control para manipular un solo elemento final de control. Para que el control en cascada sea eficaz es necesario escoger adecuadamente la variable secundaria teniendo en cuenta las perturbaciones que pueden presentarse y las velocidades de respuestas de los distintos componentes del proceso.

2.3.5.2 Control en relación

Aquí la variable de proceso se controla con relación a otra variable. Este tipo de control satisface una necesidad específica, que es el control de la relación fija entre dos cantidades. Una aplicación común es mantener la relación fija

entre dos flujos como aire-combustible en hornos, materiales de alimentación y catalizador en reactores y mezclas de dos o más materias primas en operaciones de mezclado.

2.3.5.3 Control de rango partido

Conocido también como gama partida o split-range control, es una forma de control en el que una variable manipulada tiene preferencia con relación a otra u otras del proceso.

2.3.5.4 Control selectivo

Conocido también como override control, se emplea para limitar la variable de proceso en un valor alto o bajo con el objeto de evitar daños en el proceso o en el producto.

2.3.5.5 Control anticipativo

Técnica empleada en el control de procesos. En este tipo de control la señal de salida (variable controlada) es comparada con un valor deseado (punto de consigna) y, la señal de error actúa sobre el controlador. Su desventaja principal radica en la aplicación en sistemas con tiempos de retardo importante, debido a que la señal de error puede ser detectada mucho tiempo después que se ha producido algún cambio en la carga, por lo cual la corrección es retardada y actúa cuando ya no es necesario.

2.4 CONTROLADORES DE PROCESOS INDUSTRIALES

2.4.1 Introducción

En general para el control automático de los procesos existen varias alternativas:

- Controladores de lazo simple y controladores especiales
- PLCs tradicionales
- Software emulador de PLC ("Sofá PLC")
- Computadoras de propósito general
- Sistemas de control Distribuido (DCS)

En algunos casos estos elementos forman parte de una estructura con varios de ellos, para lo cual se requiere de algunos dispositivos auxiliares que permitan formar una determinada red.

2.4.2 Comunicaciones

Existen varios tipos de conexiones (interfaces) entre las computadoras y los PLCs. Estos son solamente conexiones eléctricas y no especifican el protocolo o lenguaje usado en la conexión. Para que exista una comunicación efectiva entre un PLC y otro, es necesario que ambos utilicen los mismos tipos de interfaz y protocolo.

2.4.2.1 Comunicación Serial y Paralela

Como sabemos, existe la posibilidad de que la información digital sea de forma serial o paralela. En la segunda de ellas, un bus paralelo se conecta entre los módulos del PLC, con lo cual se tiene un flujo de información de gran velocidad. Un bus serial sale del procesador y típicamente es conectado a un bus paralelo a través de un conversor serial-paralelo.

2.4.2.2 Maestros y esclavos

Los PLCs responden a pedidos de información. Para esto, una computadora deberá pedir la misma a través de una operación denominada "polling". El esquema utilizado para esto se denomina Maestro-Eslavo. Típicamente hay un solo maestro y numerosos esclavos. Una computadora podría ser el primero y los PLC los segundos. O un PLC podría ser el maestro y los medidores de campo los esclavos. El maestro es el que interroga a los esclavos pidiendo información y estos esperan de esta requisición.

2.4.3 Computadoras industriales e interfaces de operador

Las computadoras industriales e interfaces de operador son dispositivos con una construcción robusta, especial para trabajar en ambientes industriales.

Las computadoras actuales incluso han llegado a un nivel de rendimiento tal que permite que el software trabaje a la velocidad deseada. Esto puede permitir que una computadora reemplace a un PLC en las funciones que realiza.

En cuanto a las interfaces de operador, debemos indicar que son todos aquellos dispositivos que permiten una interacción entre el sistema de control y el ser humano. Normalmente una interfaz de operador tiene como funciones notificar al operador que ha ocurrido algún error y rápidamente identificarlo, proveer realimentación a los operadores, procesos y personal de calidad sobre que tan bien están realizando su trabajo.

2.4.4 Redes con PLC

Una red con PLCs debe cumplir con las siguientes características básicas:

- Optimizada: la implementación debe considerar la aplicación específica
- Estandarizada: utiliza protocolos estándar de comunicación
- Abierta: Independencia del origen de tecnologías para los clientes
- Orientada al futuro: innovaciones permanentes y soporte

Se habla de redes de diversos niveles de integración que van desde aquellas que relacionan equipos directamente relacionados con las maquinas y procesos, hasta aquellas que llevan información hasta los niveles administrativos. Las describimos a continuación:

2.4.4.1 Nivel de actuador-sensor o de mando regulación

Integra a los equipos situados a pie del proceso. En este nivel es donde se produce el control de la secuencia de conexiones de los contactotes y válvulas, los enclavamientos y las vigilancias para la protección del personal y de las maquinas así como el registro de los avisos operativos y de perturbación.

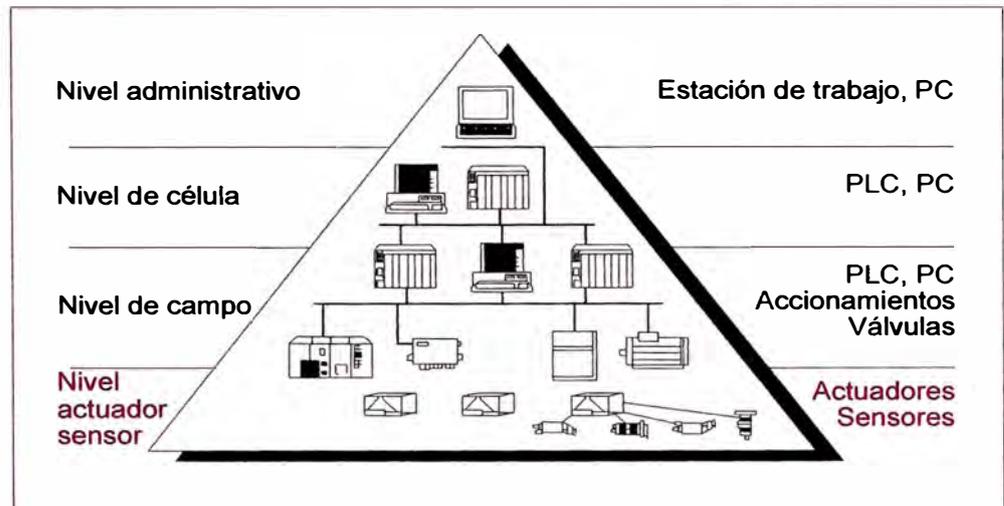


Figura 2.5 – Nivel de actuador-sensor

2.4.4.2 Automatización

Contiene PLCs que gestionan las áreas del proceso interrelacionados tecnológicamente. Los datos procedentes de los PLCs y equipos de los niveles de automatización superiores se distribuyen, acondicionan y transmiten oportunamente, en función de eventos, a los autómatas del nivel de mando y regulación. Los PLCs del nivel de control de grupos recolectan datos y los comprimen para entregarlos a los autómatas y equipos de nivel superior.

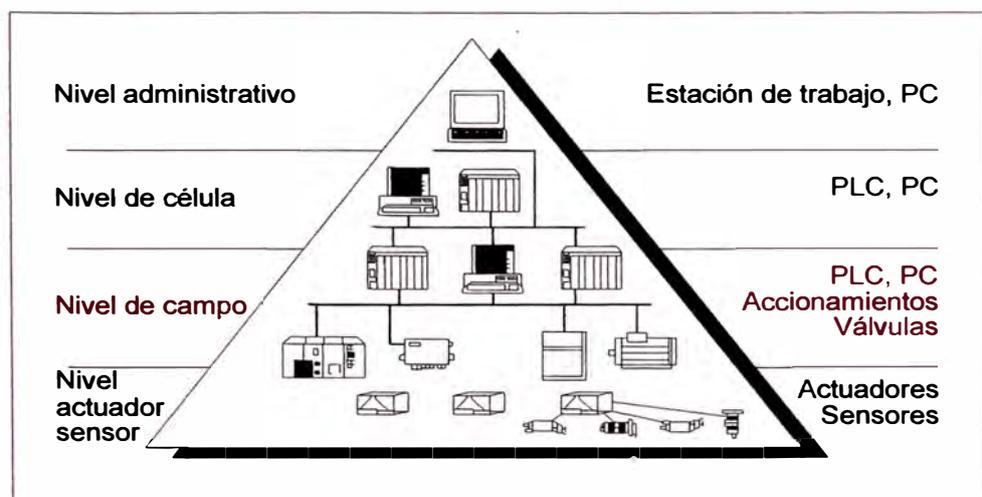


Figura 2.6 – Nivel de Automatización

2.4.4.3 Nivel de célula o control de la producción y proceso

Se gobierna la totalidad del proceso, en el se recolectan los datos adquiridos en los niveles inferiores, se memorizan y se acondicionan para su procesamiento en los computadores del nivel de gestión de la empresa. En este nivel de automatización se visualizan todas las operaciones del proceso y se puede intervenir manualmente en el mismo. Se visualizan, listan y evalúan, mensajes de operación y de perturbación.

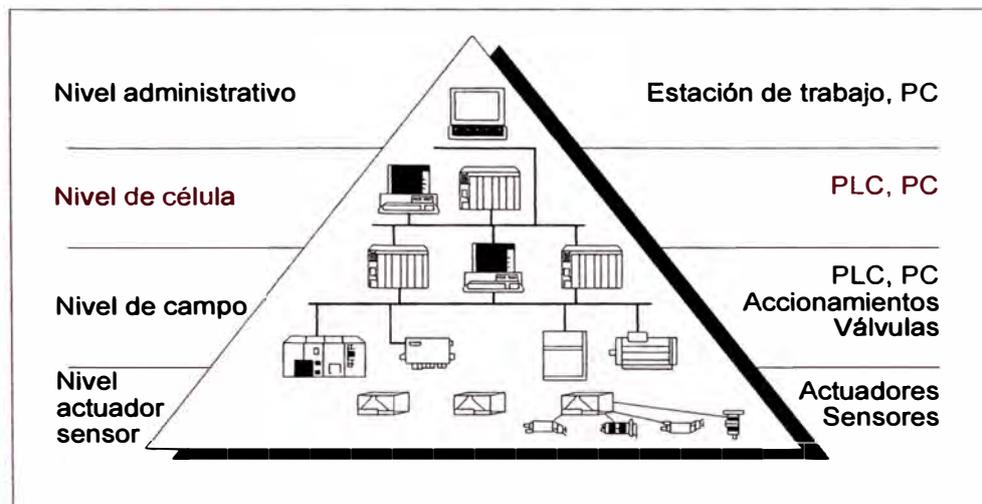


Figura 2.7 – Nivel de célula

2.4.4.4 Nivel administrativo o de gestión

En este nivel, las computadoras se encargan de funciones administrativas y comerciales para todo el proceso. Estos entregan datos primarios a los equipos en los niveles inferiores y, partiendo de los datos adquiridos en dichos niveles, confeccionan estadísticas para los encargados de dirigir el proceso.

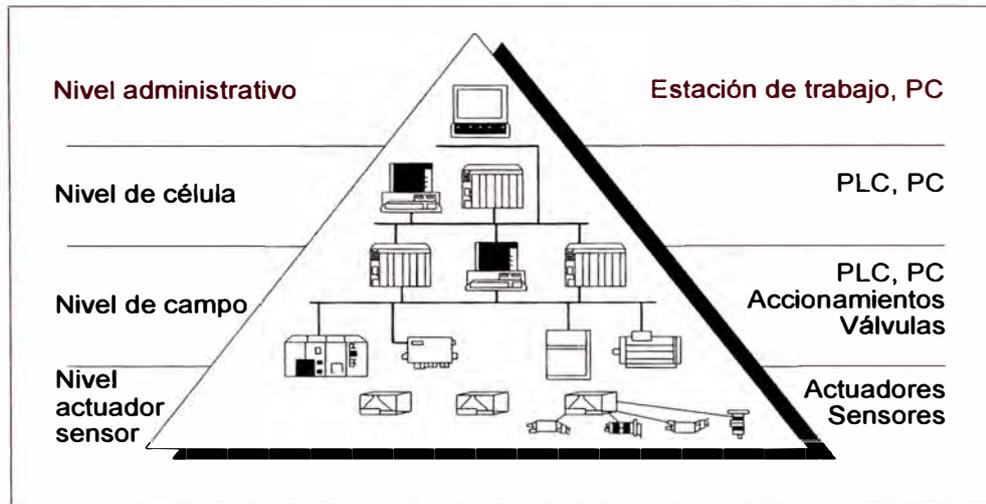


Figura 2.8 – Nivel administrativo

2.5 REDES INDUSTRIALES

2.5.1 Introducción

En la industria, el uso de computadoras aplicadas al control automático evoluciono desde un único computador supervisando algunos controladores analógicos a complejos sistemas que interrelacionan múltiples procesadores. Las plantas industriales cuentan en muchos casos con sistemas de computadoras a fin de satisfacer sus necesidades administrativas y gerenciales.

2.5.2 Estructura de redes

Una red industrial esta formada por la interconexión de dos o mas dispositivos a través de un medio de transmisión y que pueden intercambiar información entre si. La elección del medio de trasmisión es a menudo dependiente de la interfaz y la velocidad requerida. La topología de redes describe el modo en que varios dispositivos en una red son interconectados. Estos difieren de acuerdo a tres criterios: disponibilidad, redundancia o expandibilidad.

2.5.2.1 Estructura de estrella

Toda la información es canalizada a través de un nodo central como lo es una computadora central. El intercambio de datos entre periféricos es siempre manejado vía el nodo central. Si una de las líneas esta sujeta a interferencias, solo el dispositivo conectado a ellas es afectado. Las líneas pueden ser encendidas o apagadas durante la operación normal. El nodo central debe ser extremadamente confiable. Si fallase o se sobrecargase debido a las excesivas transacciones de transferencias de datos, todo el sistema se viene abajo.

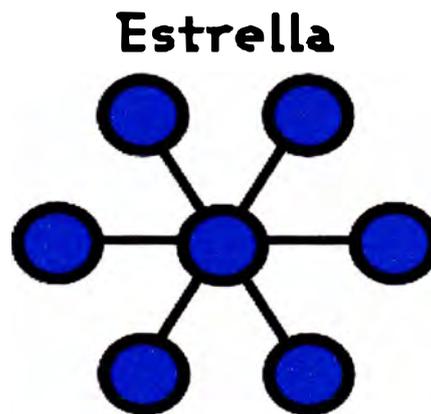


Figura 2.9 – Estructura de red en estrella

2.5.2.2 Estructura en anillo

La información es pasada de dispositivo a dispositivo. No hay un control central en el anillo, cada dispositivo asume el rol de controlador a intervalos estrictamente definidos. La falla de un dispositivo es suficiente para interrumpir el anillo y detener todas las comunicaciones. Para evitar eso, se incorporan interruptores de bypass que automáticamente conmutan cuando un dispositivo falla. Esto también permite a los dispositivos ser añadidos o removidos sin interrumpir la operación normal.

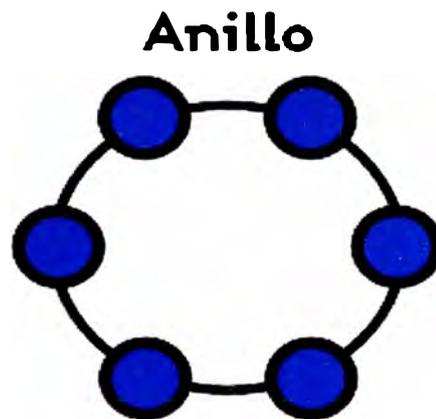


Figura 2.10 – Estructura de red en anillo

2.5.2.3 Estructura en bus

Todos los dispositivos son conectados a una misma línea de datos, llamada bus, a través de la cual es pasada la información. La información llega al receptor sin la ayuda de ningún otro dispositivo, las estaciones individuales son pasivas. Si se añade un dispositivo al bus, no se requieren interfaces adicionales en las estaciones existentes. El cableado es pequeño y se pueden agregar nuevos dispositivos sin problema. Una estructura en bus puede permitir comunicación cruzada entre cualquiera de los dispositivos conectados. La transmisión debe ser estrictamente regulada.

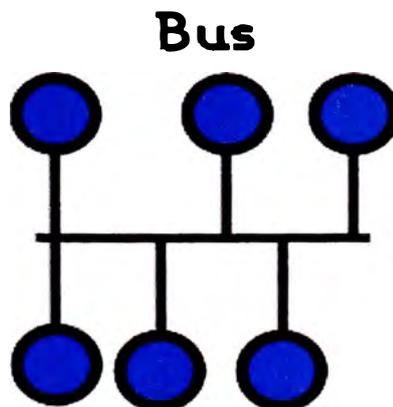


Figura 2.11 – Estructura de red en bus

2.5.3 Administración de redes

La interfaz y el método de acceso de bus, se encargan de que la señal digital pueda ser transportada en forma segura entre un transmisor y su receptor. La administración de la red controla el intercambio de datos entre los distintos niveles de procesamiento dentro de un dispositivo de campo. Algunas tareas importantes son:

- Mantenimiento de una lista activa y sistema de mensajes
- Procesamiento de la señal a ser transmitida
- Interpretación de las señales recibidas
- Interpretación de los comando del programa de aplicación

2.5.4 Transmisión de la señal

La forma en que estas funciones son realizadas depende del tipo y forma de la red así como el tipo de dispositivos que son conectados a ella. Los datos son invariablemente transmitidos en bloque y los caracteres de control le dicen a uno de ellos si hay que esperar más datos o cerrar la conexión. Sin interesar si se usan líneas de control o caracteres de control, se debe hacer un chequeo acerca de si la información llega intacta.

2.5.5 Chequeo de errores

Durante la transmisión de datos es frecuente que aparezcan ruidos en la línea de transmisión, que deforman la señal transmitida. La capacidad de un método para detectar errores en un mensaje se cuantifica por medio de su distancia de hamming. Al igual que el agrupamiento de bits, el reconocimiento de errores también tiene dos niveles: uno a nivel de caracteres y otro a nivel de trama. Para el primer caso se tienen los de bit de paridad (cheque a nivel de carácter), bit de paridad longitudinal y transversal y para el segundo casa los llamados redundancia cíclica.

2.5.6 Sistemas abiertos y cerrados

Cuando el sistema de comunicaciones es homogéneo, los problemas pueden ser normalmente resueltos. Para aplicaciones con equipo de diferente procedencia, los problemas se multiplican. Los sistemas propietarios que trabajan con sus propios protocolos, sets de caracteres, secuencias de transmisión, etc. Son denominados redes cerradas. En contraste, las redes abiertas cumplen con lineamientos específicos que son disponibles para todos.

2.5.7 Modelo de interconexión de sistemas abiertos

El modelo referencial OSI es una estructura modular que contiene siete capas que gobiernan la transmisión de información entre diversos sistemas así como también dentro de un solo sistema dentro de una red heterogénea. Cada capa tiene una función particular. La comunicación es posible dentro de un sistema heterogéneo cuando las funciones dentro de una capa son ejecutadas de acuerdo al estándar. Las capas inferiores 1...4 gobiernan la comunicación entre los procesadores, con esta se establecen las conexiones con lo cual los datos en cualquier formato son canalizados. Los niveles más altos 5...7 gobiernan la comunicación entre las aplicaciones dentro de los procesadores, su tarea es asegurar que la comunicación funcione correctamente.

2.5.8 Integración

Lo visto anteriormente constituye una visión general de las características principales de una red, lo cual es válido tanto como para una red administrativa como para una red industrial. Los esfuerzos de integrar ambas, han dado lugar al desarrollo de herramientas tanto de hardware como de software. Tomando en cuenta los diferentes niveles incluidos en ambos casos, se tiene una distribución jerárquica en función de los objetivos de la empresa y los resultados de la producción.

2.6 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

2.6.1 Introducción

El protocolo es un conjunto de reglas y convenciones que permiten establecer una comunicación fiable entre dos entidades de un proceso.

2.6.2 Ventajas de la comunicación digital

Los enlaces de comunicación digital se componen de dos niveles básicos: el enlace físico y el protocolo. Cuando existen dos o más módulos de sistemas digitales interconectados en un único circuito de comunicaciones o red, estos deben ser capaces de soportar un protocolo de red: estos protocolos usan diferentes mecanismos para asegurar una comunicación confiable y robusta. Existe una tendencia a la conectividad entre equipos de fabricantes distintos a través de versiones estandarizadas de protocolos de redes industriales, las razones son:

2.6.2.1 Sistemas abiertos

Es difícil y costoso integrar sistemas con instrumentación de diferentes fabricantes debido a los diferentes protocolos empleados. Con protocolos estándar, dispositivos de diversa procedencia pueden coexistir en la misma red y comunicarse entre sí.

2.6.2.2 Reducción en el costo de cableado

El cableado para un sistema multidrop significa una reducción en los costos de instalación.

2.6.2.3 Necesidades de mayor información

En una red digital, los instrumentos pueden proveer información de mantenimiento y diagnóstico para conocer mejor el rendimiento de los instrumentos.

2.6.2.4 Dispositivos inteligentes

La mayor información disponible en una red digital es necesaria para capitalizar las mejoras en las capacidades hechas posibles por la presencia de inteligencia en los dispositivos.

2.6.3 Protocolo HART

HART (Highway Addressable Remote Transmitter) es un protocolo, cuya señal esta contenida en una señal digital FSK súper impuesta a una analógica de 4 a 20mA. Fuera de su avance como un estandar de-hecho, este protocolo todavía tiene un trecho por recorrer antes del advenimiento de un mercado abierto. En efecto todos los dispositivos interconectables son totalmente compatibles, intercambiables y operables con un solo Terminal programador.

El set de comandos HART tiene tres clases de comandos:

- Comandos universales que son entendidos por todos los dispositivos de campo
- Comandos de practica común que son reconocidos por la mayoría aunque no necesariamente todos los dispositivos de campo
- Comandos específicos que son únicos para cada dispositivo

2.6.4 Sistemas de buses de campo

La ausencia de un estándar internacional para reemplazar la interfaz analógica de 4...20mA, ha dejado al usuario con la dificultad de elección acerca de cual bus, entre los que se ofrecen, debe elegir para ser utilizado a nivel de proceso o de campo.

Veamos a continuación algunos de estos buses:

2.6.4.1 ASI (Actuador / Sensor Interface)

La especificación ASI es muy similar al protocolo ¿HART, pero con una estructura mucho mas sencilla. Esta dirigido a conectar actuadores y

sensores binarios que reconocen solamente los estados “encendido” o “apagado” o “sí” y “no”.

2.6.4.2 CAN (Controller Area Network)

Este conector de bus serial fue desarrollado para la conexión en red de controladores, actuadores y sensores en automóviles y provee rápidas velocidades de transmisión combinadas con una alta inmunidad a la interferencia electromagnética. La red no es configurable pero es diseñada para operar con parámetros peseteados.

2.6.4.3 Devicenet

Es una red de bajo nivel diseñada para conectar dispositivos industriales (sensores, actuadores) con dispositivos de nivel más alto (controladores).

2.6.4.4 Interbus S

Su función cae de alguna forma entre CAN y PROFIBUS. Similar a CAN, este protocolo llena el requerimiento de velocidades de transmisión de datos para ciclos muy altos. Tiene un método de acceso de bus determinístico y es particularmente aplicable para la puesta en red de drives industriales.

2.6.4.5 Profibus FMS

El estándar PROFIBUS tiene tres perfiles diferenciados: PROFIBUS DP, PROFIBUS PA y PROFIBUS FMS (Fieldbus Message Specification). El perfil FMS es cubierto en las primeras dos partes del estándar y fue desarrollado principalmente para aplicaciones generales de control de procesos.

2.6.4.6 Foundation Fieldbus

Es una red industrial diseñada para aplicaciones de control de procesos distribuidos. Esta basa en parte de las tecnologías existentes. La tecnología de este bus consiste de una capa física, un “snack” de comunicación y una capa de usuario. Este no implementa las capas 3, 4, 5 y 6 del modelo OSI porque los servicios de estas capas no se requieren para la aplicación en control de procesos.

CAPÍTULO 3

SISTEMAS DE CONTROL

3.1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de control han ido evolucionando de acuerdo a las necesidades de los procesos, mientras mas complicado se hacia un proceso la necesidad de mejorar los sistemas de control se hacia necesaria, en el presente capítulo mostraremos los sistemas de control mas importantes y usados actualmente. Al final de este se definirán los parámetros mas adecuados para la selección de un tipo de sistema para la aplicación a implementar.

3.2 SISTEMAS CABLEADOS

Es todo circuito eléctrico o electrónico que exige el montaje de distintos módulos cableados entre si, para realizar un determinado proceso o secuencia lógica que por lo general servirá para controlar un sistema. Este es empleado normalmente en el diseño de automatismos. Su estructura suele ser rígida por lo tanto difícilmente modificable.

Existen dos tecnologías que permiten realizar un sistema cableado:

- Sistema cableado eléctrico
- Sistemas de tarjetas electrónicas

3.2.1 Sistema cableado eléctrico

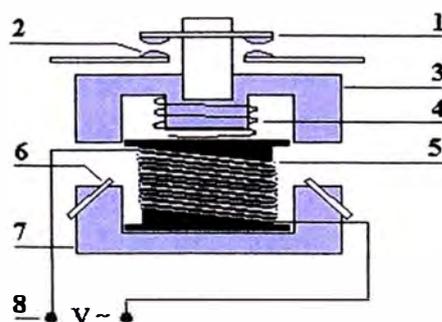
Forma de realizar controles mediante conexiones eléctricas, en la que el tratamiento de datos (botinería, fines de carrera, sensores, presostatos, etc),

se efectúa con contactores o reles auxiliares asociados a temporizadores y contadores.

Con la conexión de los diferentes elementos, se ejecutan secuencias de activación, desactivación y temporización de los diferentes elementos que realizan el manejo de los componentes del sistema (contactores, válvulas, motores, etc). Los principales componentes son:

3.2.1.1 Contactores

Aparato mecánico de conexión y desconexión eléctrica, accionados por energía magnética, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales de un circuito. Este consta de un núcleo y de una bobina capaz de generar un campo magnético suficientemente grande para vencer la fuerza de los muelles antagonistas que mantienen separada del núcleo una pieza, también magnética, solidaria al dispositivo encargada de accionar los contactos eléctricos. Las tensiones de accionamiento pueden ser 24, 48, 220, 380, 480 Voltios alterna o continua y capaz de soportar una carga desde 5A hasta varios cientos de amperios. Los contactores son usados para cargas resistivas, inductivas como motores de anillos rozantes, motores de jaula.



- 1- Contactos móviles. 2 - Contactos fijos.
 3- Hierro móvil. 4 - Muelle antagonista. 5 - Bobina.
 6- Espira de sombra (en corriente alterna).
 7- Hierro fijo. 8 - Alimentación bobina.

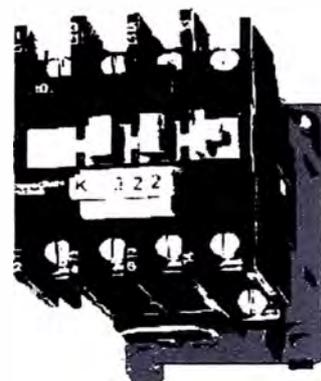


Figura 3.0 – Esquema eléctrico de un contactor

3.2.1.2 Reles auxiliares

En diseño es parecido a un contactor. Las tensiones de mando usadas son generalmente en 24, 48, 110, 125 voltios DC, también existen aplicaciones con voltajes AC. A diferencia de los contactores estos trabajan con corrientes menores a los 10A. Estos son utilizados para la conexión entre circuitos de control y circuitos a controlar, debido a que la cantidad de contactos de estos permite duplicar una señal necesaria para el control o permite aislar un circuito de mando y así proteger equipos que trabajan con tensiones distintas.

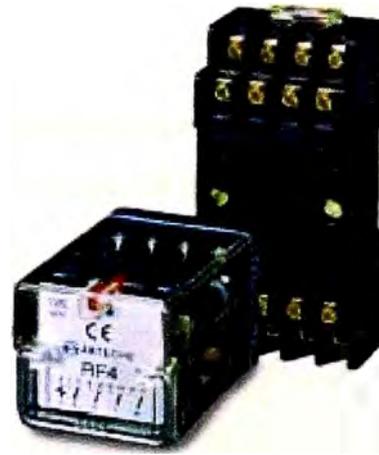


Figura 3.1 – Vista de un rele auxiliar

3.2.1.3 Reles Temporizados

A diferencia de los contactores y reles auxiliares, los contactos de los reles temporizados cambian de estado luego de un lapso de tiempo el cual es ajustado. Estos se dividen en dos grupos, reles temporizados a la desconexión y los reles temporizados a la conexión. Son utilizados cuando se necesitan contar con un lapso de tiempo antes de la energización de cualquier parte del circuito de control o mando.

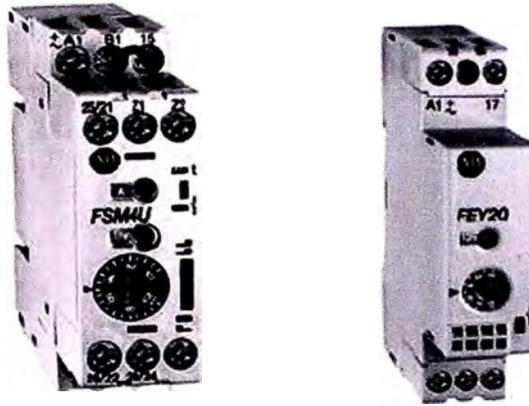


Figura 3.2 – Vista de un rele temporizado

3.2.1.4 Pulsador

Elemento con contactos eléctricos, que se encarga de dar un pulso necesario para la puesta en marcha de cualquier equipo. Después de dado el pulso este vuelve a su posición inicial.



Figura 3.3 – Vista de un pulsador

3.2.1.5 Interruptor

Elementos con contactos eléctricos, que se encarga de abrir o cerrar un circuito eléctrico. Estos interruptores pueden provenir de diferentes medios como un interruptor de presión, un interruptor de caudal, un final de carrera, una botonera de arranque o parada de un equipo, etc.

En la figura 3.4 podemos observar un ejemplo de un sistema cableado eléctrico.

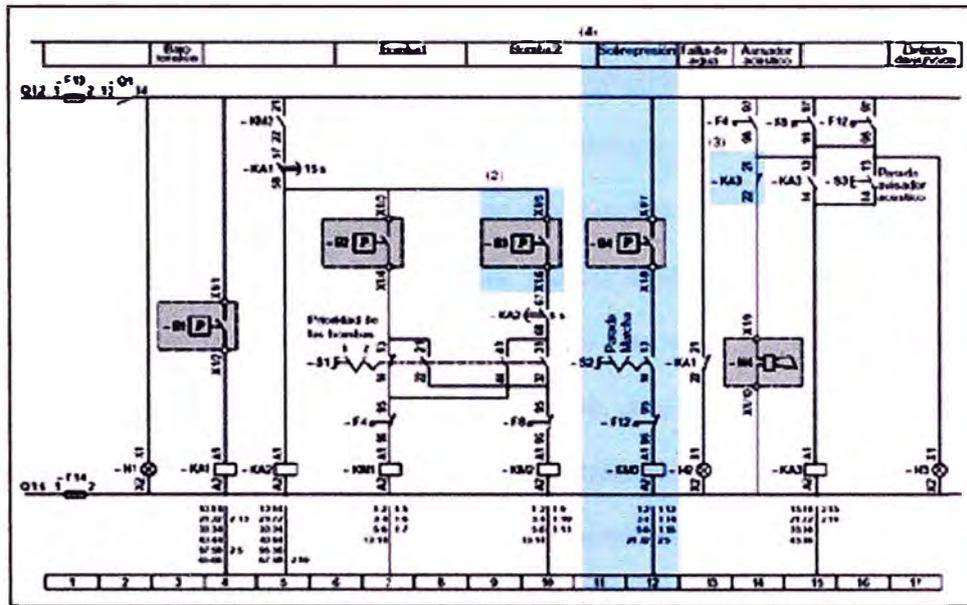


Figura 3.4 – Esquema típico de un sistema cableado

3.2.2 Sistemas con tarjetas o módulos electrónicos

También conocida como lógica digital, esta es un proceso racional para adoptar sencillas decisiones de 'verdadero' o 'falso' basadas en las reglas del álgebra de Boole. El estado verdadero se representado por un 1, y falso por un 0, y en los circuitos lógicos estos numerales aparecen como señales de dos tensiones diferentes. Los circuitos lógicos se utilizan para adoptar decisiones específicas de 'verdadero-falso' sobre la base de la presencia de múltiples señales 'verdadero-falso' en las entradas. Las señales se pueden generar por conmutadores mecánicos o por transductores de estado sólido. La señal de entrada, una vez aceptada y acondicionada (para eliminar las señales eléctricas indeseadas, o ruidos), es procesada por los circuitos lógicos digitales. Las diversas familias de dispositivos lógicos digitales, por lo general circuitos integrados, ejecutan una variedad de funciones lógicas a través de las llamadas puertas lógicas, como las puertas OR, AND y NOT y combinaciones de las mismas (como 'NOR', que incluye a OR y a NOT). Otra familia lógica muy utilizada es la lógica transistor-transistor.

En general, para ejecutar una determinada función es necesario conectar grandes cantidades de elementos lógicos en circuitos complejos. En algunos casos se utilizan microprocesadores para efectuar muchas de las funciones de conmutación y temporización de los elementos lógicos individuales. Los procesadores están específicamente programados con instrucciones individuales para ejecutar una determinada tarea o tareas. Una de las ventajas de los microprocesadores es que permiten realizar diferentes funciones lógicas, dependiendo de las instrucciones de programación almacenadas. La desventaja de los microprocesadores es que normalmente funcionan de manera secuencial, lo que podría resultar demasiado lento para algunas aplicaciones. En tales casos se emplean circuitos lógicos especialmente diseñados.

Las puertas lógicas empleadas son las siguientes:

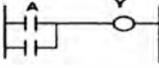
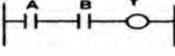
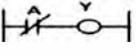
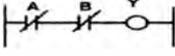
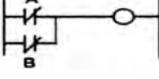
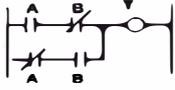
SÍMBOLO LÓGICO	TABLA DE LA VERDAD	ESQUEMA DE CONTACTOS															
 OR	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	
A	B	Y															
0	0	0															
1	0	1															
0	1	1															
1	1	1															
 AND	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	
A	B	Y															
0	0	0															
1	0	0															
0	1	0															
1	1	1															
 NOT	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	0	1	1	0										
A	B																
0	1																
1	0																
 NOR	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	
A	B	Y															
0	0	1															
1	0	0															
0	1	0															
1	1	0															
 NAND	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	
A	B	Y															
0	0	1															
1	0	1															
0	1	1															
1	1	0															
 XOR	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	
A	B	Y															
0	0	0															
1	0	1															
0	1	1															
1	1	0															

Figura 3.5 – Puertas lógicas

3.2.3 Características

Podemos mencionar las siguientes características principales de los sistemas cableados:

- Los costos de fabricación en aquellos sistemas sin demasiada complejidad o para funcionalidades muy concretas es bajo.
- En determinados casos, un sistema cableado puede tener un tiempo de reacción (tiempo de retardo) ante una señal de entrada muy bajo (del orden de nanosegundos), debido a que el retardo viene impuesto por el propio retardo físico de los componentes eléctricos o electrónicos, Esto lo hace la única solución factible para sistemas con un tiempo crítico de reacción.
- Los elementos que la forman son electromecánicos (en el caso de los relés), lo cual implica un número limitado de maniobras y la necesidad de implantar logísticas de mantenimiento preventivo.
- Dificultad para la búsqueda de averías (un cable que no hace contacto sigue estando visualmente junto al tornillo).
- Cuando se cambia de proceso de producción cambia también el sistema de control. Los tiempos de parada ante cualquier avería eran apreciables. Si saltaba una parada de emergencia, se tenía que reiniciar manualmente el sistema, dado que se perdía el estado de la producción.
- Se tiene imposibilidad de realizar funciones complejas de control, se tiene un gran volumen en la instalación.

3.3 SISTEMAS PROGRAMADOS

Es un circuito electrónico que contiene un microprocesador o un microcontrolador integrado en el mismo, Mediante un programa informático almacenado en una memoria interna, se realiza el control y la gestión del sistema. Este tipo de circuitos son, funcionalmente, idénticos a un sistema cableado, con la diferencia fundamental

de que en un sistema programado, modificar su funcionamiento lógico se reduce a un simple cambio en el programa (software) del circuito microprogramado, con la reducción de costes que ello supone.

3.3.1 Lógica Programada

La lógica programada permite utilizar unidades electrónicas para el tratamiento de datos. El funcionamiento de este tipo de equipos no está definido por un esquema, como en el caso de la lógica cableada, sino por un programa cargado en la memoria de la unidad de tratamiento. Los autómatas programables son los componentes básicos de los equipos electrónicos de automatismo. En la actualidad, existen numerosos modelos de autómatas programables: desde los “reles inteligentes”, que se adaptan a las máquinas e instalaciones simples con un número reducido de puertos de entrada/salida; hasta los autómatas multifunción (PLC), capaces de gestionar varios miles de puertos de entrada/salida y dedicados al accionamiento de procesos complejos.

Dado el avance alcanzado por la electrónica, los nuevos PLC son capaces de realizar funciones de control complejas, tales como control por lazos de tipo PID de variables analógicas o discretas, manejo de funciones trigonométricas, manejo de redes de variadores de frecuencia a través de los PLCs más sencillos y todo tipo de interfaces de comunicaciones que permiten incorporar equipos tanto a redes industriales como corporativas.

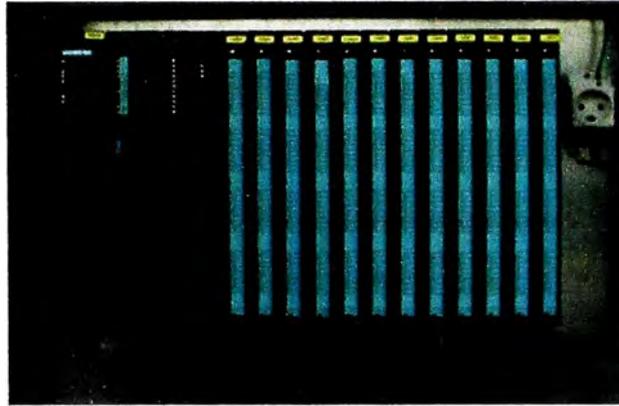


Figura 3.6 – Vista de un PLC



Figura 3.7 – Vista de un rele inteligente

3.3.2 Características

Podemos mencionar las siguientes características de los Sistemas Programados:

- Presenta gran flexibilidad, posibilidad de cálculo científico e implementación de algoritmos complejos de control de procesos, arquitectura de control distribuido, comunicaciones y gestión.
- La velocidad de un sistema programado ha mejorado considerablemente, llegando a procesar funciones al orden de los microsegundos, con lo cual se tiene una mejora en el análisis del sistema en un tiempo muy corto.
- En la actualidad los costos de implementación de los sistemas programados son relativamente menores a un sistema cableado.

- Debido a que su estructura reemplaza a muchos elementos como reles auxiliares, temporizados, etc. Su diseño resulta mas compacto y ocupa un menor espacio.
- La probabilidad para que un sistema programado falle por razones constructivas es insignificante, exceptuando errores humanos que pueden surgir.
- La versatilidad que poseen estos equipos radica en la posibilidad de realizar grandes modificaciones en el funcionamiento de un sistema automático con solo realizar un nuevo programa y mínimos cambios de cableado.
- La detección de fallas resulta sencilla porque dispone de indicadores de diagnostico tales como estado de la CPU, terminarles E/S, etc.
- Estos pueden fácilmente conectarse con cualquier equipo sin importar la marca ni procedencia, existe compatibilidad de equipamiento.

3.4 EVALUACIÓN SISTEMAS DE CONTROL

Para definir que sistema de control utilizar en una aplicación determinada es necesario tener algunos criterios básicos y característicos para definir de la mejor forma que tipo de sistema de control es el mas adecuado según las expectativas de funcionamiento y el proceso que se esta ejecutando.

3.4.1 Características principales

Las definimos como características básicas y necesarias a considerar para el funcionamiento adecuado de un proceso de acuerdo a la aplicación deseada:

3.4.1.1 Confiabilidad

Se define como la capacidad del sistema de realizar su función de la manera prevista sin incidentes por un periodo de tiempo especificado bajo condiciones indicadas.

3.4.1.2 Disponibilidad

Tiempo durante el cual el sistema es capaz de realizar las funciones para las cuales ha sido diseñado.

3.4.1.3 Mantenibilidad

Propiedad de un sistema que representa la cantidad de esfuerzo requerido para conservar su funcionamiento normal o para restituirlo una vez que se ha presentado un evento de falla.

3.4.1.4 Interoperabilidad

Condición mediante la cual sistemas heterogéneos pueden intercambiar procesos o datos.

3.4.1.5 Flexibilidad

Capacidad del sistema para adaptarse rápidamente a los cambios en el funcionamiento que se puedan realizar en el proceso.

3.4.1.6 Integración

Capacidad del sistema de operar conjuntamente con equipos de diversas procedencias y la capacidad de comunicarse con ellos.

3.4.1.7 Seguridad

Referido a la capacidad del sistema de efectuar su operación dentro de parámetros adecuados para el equipamiento y el personal que lo usa.

3.4.1.8 Detección de Fallas

Capacidad del sistema de ubicar una falla de una forma sencilla y rápida.

3.4.2 Características secundarias

Estas son características adicionales que sirven como complemento en las funciones de un sistema.

3.4.2.1 Instalación

Característica del sistema para conectar los equipos del sistema de una manera rápida y sencilla.

3.4.2.2 Programación

Cualidad del sistema para realizar modificaciones de una manera sencilla por parte del personal.

3.4.2.3 Consumo de energía

Característica del sistema referida al uso de energía para su funcionamiento adecuado.

3.4.2.4 Volumen

Referido al espacio que ocupara el sistema dentro del proceso.

3.4.2.5 Costo

Referido a la inversión a realizar en el diseño del sistema según el proceso requerido a controlar.

3.4.3 Ponderación de características

Según las características desarrolladas previamente, podríamos definir una ponderación para cada una de ellas teniendo en consideración el proceso que se desea controlar y las características que se desean tener durante su funcionamiento:

Para el caso de las características principales podríamos considerar tres casos: No necesario, necesario y muy necesario, a estos se le podría asignar un peso de 0, 1 y 2 respectivamente.

En el caso de las características secundarias se establecerían tres casos: No necesario, necesario y muy necesario, para el cual asignaríamos pesos de 0, 1 y 2 respectivamente

3.4.4 Evaluación según sistemas

Según los ponderados que podríamos dar a cada una de las características, formamos una tabla y realizamos una comparación de estas según el sistema que se pretende emplear, un sistema cableado, un sistema programado o una combinación de los mismos. Para así definir cual sería el mas adecuado para

la aplicación que se desarrollara, o también para definir si el tipo de sistema que se tiene implementado es el mas adecuado para el proceso que se esta controlando.

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA C. H. CHIMAY

4.1 INTRODUCCIÓN

La central Chimay está ubicada a 320km al noroeste de Lima, en el distrito de Monobamba, provincia de Jauja, departamento de Junín. Es una central hidráulica de punta, con embalse de regulación diaria de 2.1 MM de m³, la cual recibe las aguas del río Tulumayo.

A continuación describimos las características técnicas de la central:

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Potencia Instalada	153 MW
Potencia efectiva	150.9 MW
Generación anual media	931GWh
Caudal de la central	82m ³ /s
Altura bruta de la caída	190m
Tipo de turbina	Francis vertical
Numero de unidades	2

Tabla 4.0 – Características generales de la central Chimay

La central esta conformada por diferentes sistemas que garantizan su funcionamiento, los cuales describimos a continuación:

- *Sistema de Agua de Refrigeración.* Sistema que brinda caudal de agua a una presión y temperatura adecuada para refrigerar los generadores y el aceite del sistema de lubricación.
- *Sistema de Lubricación del Alternador.* Brinda caudal de aceite a una presión y temperatura adecuada para lubricar y refrigerar los cojinetes del alternador.
- *Sistema Oleodinámico.* Se encarga de suministrar aceite a alta presión para realizar el movimiento de los alabes directrices que regulan el caudal de agua

hacia la turbina, y también permite la apertura y cierre de la válvula mariposa que controla el ingreso de agua hacia la turbina.

- *Sistema de Aceite de Mando.* Se encarga de suministrar aceite a alta presión hacia los cojinetes de empuje y permitir así el levantamiento del generador para su giro inicial.
- *Sistema de Excitación.* Se encarga de controlar la tensión y potencia que entrega el generador, mediante variaciones en la corriente y tensión de excitación.
- *Sistema de Regulación de Velocidad.* Se encarga de controlar la frecuencia y caudal de ingreso a la turbina, con el fin de cubrir la potencia mecánica requerida por el generador.
- *Sistema de Bocatoma.* Conformada por el embalse, es la encargada de controlar el nivel adecuado para el suministro de caudal hacia la central.
- *Sistema de Agua de Servicios.* Suministra agua para refrigerar los sellos de los cojinetes de la turbina como también brindar suministro de agua hacia el sistema contra incendios de los transformadores de la central.
- *Sistema de Drenaje.* Encargado de evacuar el agua proveniente de todos los drenajes de la central.
- *Sistema de 220kV.* Encargada de elevar la tensión de salida de generador de 13.8kV hacia 220kV, mediante una bancada trifásica, conformada por tres transformadores de 170MVA cada una, para así conectarse con el SINAC.
- *Sistema de Servicios Auxiliares.* Encargada de la alimentación hacia todo el equipamiento de potencia dentro de la central, como son motores, sistemas de excitación, iluminación, etc. Mediante el uso de transformadores que suministran una tensión de 220V a estos.
- *Sistema de mando y control de Bocatoma.* Conformado por los sistemas que controlan y monitorean la represa para la captación de agua y que luego es enviada hacia la central.

Sistema de Mando y Control. Encargado del control, monitoreo y verificación del correcto funcionamiento de todos los sistemas que comprenden la central.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de mando y control de la central Chimay esta desarrollado en base a una combinación de un sistema de lógica cableada, un sistema de lógica programada y un sistema de supervisión y adquisición de datos.

4.2.1 Sistema de lógica programada

Conformado por 4 PLC encargados de realizar controles secuenciales de cada uno de los sistemas de la central, como también la adquisición de señales digitales y analógicas necesarias para el sistema de supervisión y adquisición de datos. Estos PLC controlan el funcionamiento de los grupos 1 y 2 (UCPG1 y UCPG2) y de sus sistemas; la subestación de 220kV (UCPS) y del sistema de bocatoma (UCPT). Esta conformada por tres niveles de control:

- Nivel de control 3: operación desde los panel de control
- Nivel de control 2: operación desde los panel de control centralizados
- Nivel de control 1: operación desde el sistema de supervisión.

4.2.1.1 Equipamiento

Los PLC usados en la instalación son de la serie GEFanuc Serie 90-30, conformado por CPU, tarjetas de entradas y salidas digitales, tarjetas de entradas y salidas analógicas estandarizadas en 4-20mA. Cada PLC cuenta con pantallas de membrana que permiten visualizar parámetros de operación y realizar mando sobre los sistemas de la central, también se cuenta con unidades de mando y supervisión conformadas por computadoras (UMS-A, UMS-B y UMS-R), que contienen el sistema SCADA.

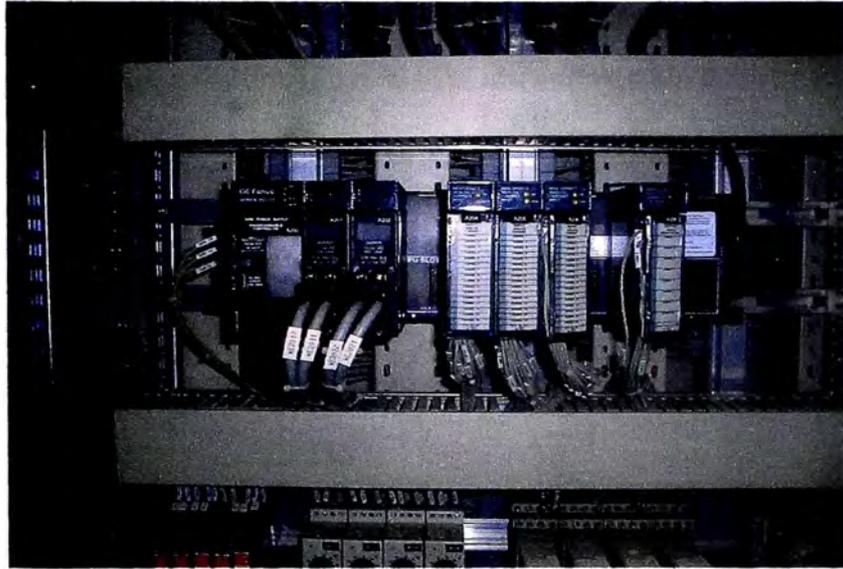


Figura 4.0 – Vista de equipamiento instalado, PLC GEFanuc

4.2.1.2 Interfase entre señales de campo y el PLC

La conexión entre señales digitales se realiza a través de reles de interfase, con respecto a las entradas digitales se usan los reles para duplicar dichas señales y usarlas en la lógica cableada y en las salidas digitales se usan para realizar un aislamiento entre las tarjetas del PLC y los circuitos de mando que generalmente manejan corrientes altas, figura 4.1.

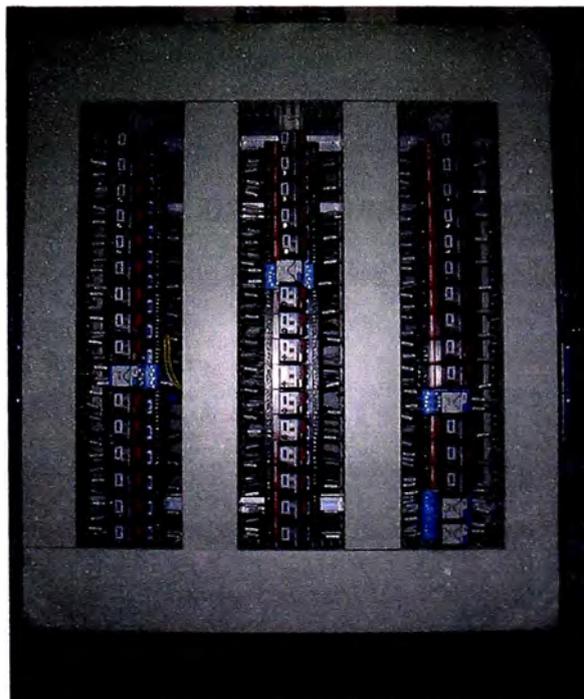


Figura 4.1 – Vista de reles auxiliares de interfase de señales digitales

En lo que respecta a las señales análogas, las entradas análogas todas han sido estandarizadas a 4-20mA, por lo cual las señales sin este estándar usan equipos para convertir su señal como se ve en la figura 4.2; las salidas análogas no tienen ningún tipo de interfase.



Figura 4.2 – Vista de equipos de interfase de señales análogas

4.2.1.3 Función de la programación

La programación contenida dentro de los cuatro PLC's instalados en la central, solo cumplen funciones de arranque y parada automática de los grupos, mando y supervisión de la subestación de 220kV, mando y supervisión de las instalaciones de la toma, todas desde las unidades de mando y supervisión (USM-A, USM-B y UMS-R) o desde las pantallas con teclado de membrana ubicado en los paneles de control de cada grupo.

4.2.2 Sistema de lógica cableada

Esta conformada por un grupo de tableros eléctricos encargados de realizar la interfase entre el PLC y los tableros de campo, como también realizar las secuencias de arranque y parada manual de los grupos y secuencias de protección. La función de los tableros se describe a continuación:

4.2.2.1 Tableros de Mando y Control

Ubicados en la sala de control principal, están conformados por un grupo de tableros que conforman la lógica de control de todos los sistemas de la central, estos realizan las secuencias principales como son: arranque y parada de las grupos, sistemas de protección, sistemas de monitoreo y también conforman la interfase entre las señales que provienen de los tableros de campo con los PLC.



Figura 4.3 – Vista de tablero de Mando y Control

4.2.2.2 Centro de Control de Motores

Conformado por los tableros que se encargan del funcionamiento de los motores principales y auxiliares de los sistemas de la central, estos tableros trabajan bajo una lógica cableada que recibe señales desde los tableros de mando y de campo, y mediante su lógica realiza dichas tareas. También envía señales del estado de los motores, fallas y alarmas hacia los tableros de mando.



Figura 4.4 – Vista de tableros de Centro de Control de Motores

4.2.2.3 Tablero de Servicios Auxiliares

Encargado de realizar los mandos y monitoreo de parámetros de operación de los componentes principales del sistema de servicios auxiliares. Conformado por un conjunto de interruptores y automatismos que permiten la alimentación continua hacia toda la central.



Figura 4.9 – Vista de tableros de Servicios Auxiliares

4.2.2.4 Tablero del Generador

Aquel encargado de recibir las señales de los parámetros principales de operación de los sistemas del Generador, conformados por el Sistema de

Aceite de Lubricación, Sistema de Aceite de Mando y Sistema de Agua de Refrigeración. Estas señales están conectadas eléctricamente con los tableros de mando y control.

4.2.2.5 Tablero del Regulador de Velocidad

Conformado por un PLC que se encarga de realizar el control de la velocidad y del caudal de agua que ingresa a la turbina. Este se comunica mediante señales discretas con los tableros de mando para realizar el aumento de caudal para aumentar la potencia de generación y también para monitorear el estado de esta.



Figura 4.5 – Vista del tablero del Regulador de Velocidad

4.2.2.6 Tablero de excitación

Conformado por un controlador encargado de realizar las variaciones de la corriente y tensión de excitación hacia el generador con fines de aumento de potencia, este se comunica con los tableros de campo mediante señales discretas y análogas, las cuales dan razón de la potencia necesaria en el generador y también monitorear el estado de esta.



Figura 4.6 – Vista del Tablero de Excitación

4.2.2.7 Tablero de Turbina y Válvula Mariposa

Encargado de realizar la interfase entre los tableros de Mando y Control y las señales de monitoreo del funcionamiento de la Turbina y Válvula Mariposa, que controla el ingreso de agua hacia la turbina. Recibe las señales del Sistema Oleodinámico, monitoreo de vibraciones, temperatura de componentes principales, presión de componentes principales.



Figura 4.7 – Vista del equipo de monitoreo de vibraciones

4.2.2.8 Tablero de Subestación 220KV

Encargado de realizar los mandos de los principales componentes del Subestación de 220kV según el tablero de Mando y Control, también realiza monitoreo de los parámetros principales de funcionamiento de los equipos dentro de ella.



Figura 4.8 – Vista de la Subestación 220kV

4.2.2.9 Tableros del Sistema de Bocatoma

Conformada por los tableros del sistema de mando y control y el centro de control de motores que se encargan de controlar los equipos para mantener un nivel adecuado de agua en la represa y monitorear los parámetros principales de esta.

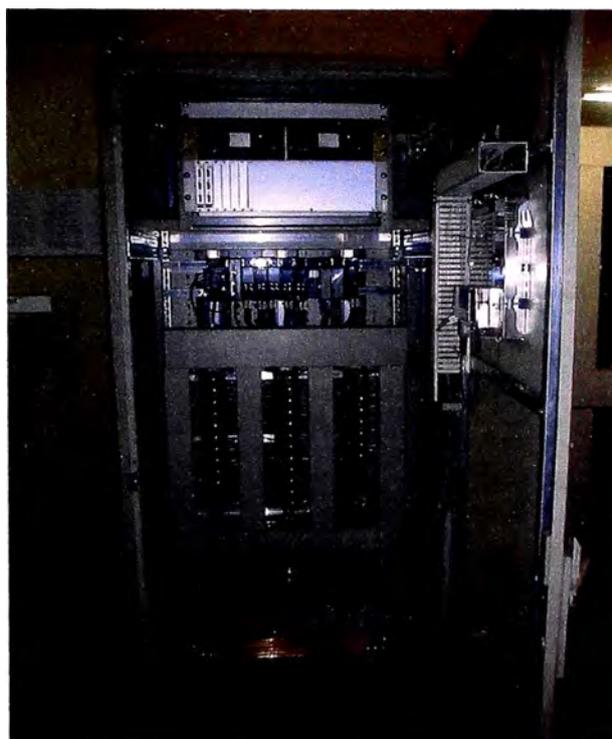


Figura 4.10 – Vista del tablero de Mando y Control Bocatoma

La distribución de los tableros dentro de la central se muestra en la tabla 4.1

DESCRIPCIÓN DEL TABLERO	UCPG1	UCPG2	UCPS	UCPT
TABLERO DE MANDO Y CONTROL				
CENTRO CONTROL DE MOTORES				
TABLERO DEL GENERADOR				
TABLERO DEL REGULADOR DE VELOCIDAD				
TABLERO DE EXCITACIÓN				
TABLERO DE TURBINA Y VÁLVULA MARIPOSA				
TABLERO SUBESTACIÓN 220kV				
TABLERO DE SERVICIOS AUXILIARES				
TABLERO DEL SISTEMA DE BOCATOMA				

Tabla 4.1 – Distribución de tableros

4.2.3 Sistema de supervisión y adquisición de datos

Conformado por dos unidades de mando y supervisión (UMS-A, UMS-B) y una unidad de mando y supervisión remota (UMS-R). Están encargadas del almacenamiento de la información de los datos suministrados por los PLC's y también tienen la característica de realizar funciones de mando sobre los PLC's. Estas estaciones están conectadas mediante una red ETHERNET a

10Mbps/s (10 base T) conformada entre las computadoras y los PLC, la arquitectura del sistema se puede observar en la figura 4.11.

4.3 EVALUACIÓN DE LA OPERATIVIDAD DE LA CENTRAL

La operatividad para una central hidroeléctrica la podríamos asociar a su factor de disponibilidad que esta directamente relacionada con las horas que deja de producir debido a diversos factores como pueden ser fallas, mantenimiento programado, mantenimiento no programado, etc. A continuación realizaremos una descripción del área de mantenimiento para luego realizar una evaluación de las fallas y acontecimientos ocurridos en la central.

4.3.1 Descripción del área de mantenimiento

El área de mantenimiento esta conformada por tres áreas: Mantenimiento Mecánico, Mantenimiento Eléctrico y Mantenimiento de Control y Comunicaciones, cada una de estas realiza los trabajos necesarios para mantener el equipamiento relacionada a cada uno de ellos en condiciones adecuadas de funcionamiento.

El área de mantenimiento ejecuta dos tipos de mantenimiento el preventivo y el correctivo, y también se ejecutan proyectos de mejoras de instalaciones en base a un análisis proactivo. El mantenimiento es programado en base a un programa semanal de actividades, en el cual están involucrados los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo, las actividades del mantenimiento semanal se programan en base a las anomalías que se presentan en las diversas instalaciones y también a las actividades que se tienen en el programa de mantenimiento anual. La gestión de las anomalías y las tareas del plan de mantenimiento se realizan mediante el software SAP2000, en el cual para cada actividad se establecen sus características y se asigna una orden de trabajo con el cual se ejecuta la actividad programada. Para

llevar un control adecuado de las instalaciones estos han sido divididos en grupos, sistemas y en subsistemas (tabla 4.2), con lo cual se realiza una mejor identificación del equipamiento y por ende la atención ante anomalías o fallas que se presenten. Las fallas que están relacionadas con pérdida de producción debido a diversos factores son archivadas y controladas por el área de planificación, las cuales llevan un historial de estas durante todo el año.

4.3.2 Evaluación de fallas

Durante el periodo de funcionamiento de la central se han presentado diversas fallas en los distintos sistemas y equipos, estas fallas han ocasionado en la mayoría de los casos pérdidas de producción y por ende pérdidas económicas. Para el presente estudio se realizara la evaluación de las fallas presentadas durante los años 2003 y 2005, estas se presentan en la tabla 4.3.

4.3.2.1 Análisis de Pareto

Para realizar este análisis primero identificaremos cada una de las fallas presentadas y los ubicaremos en la posición que les corresponde según la división realizada en la tabla 4.2, se muestra la tabla 4.4 con la ubicación de las fallas.

Según las fallas presentadas y su frecuencia en los distintos sistemas y subsistemas realizamos una identificación proactiva de cada una de las fallas y se establece el tipo de falla u ocurrencia según el sistema donde se presento, se presenta la tabla 4.5 con la identificación.

CENTRAL	GRUPO	SISTEMA	SUBSISTEMA
CHIMAY	GR-1	ALTERNADOR	ACEITE DE MANDO
CHIMAY	GR-1	ALTERNADOR	ALTERNADOR
CHIMAY	GR-1	ALTERNADOR	COJINETE
CHIMAY	GR-1	ALTERNADOR	CONTRA INCENDIOS
CHIMAY	GR-1	ALTERNADOR	EXCITACIÓN
CHIMAY	GR-1	ALTERNADOR	FRENADO
CHIMAY	GR-1	ALTERNADOR	LUBRICACIÓN
CHIMAY	GR-1	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL
CHIMAY	GR-1	ALTERNADOR	REFRIGERACIÓN
CHIMAY	GR-1	ELEM MANIOBRA 13.8 KV	BARRAS 13.8 KV
CHIMAY	GR-1	ELEM MANIOBRA 13.8 KV	CELDA 13.8 KV G1
CHIMAY	GR-1	MANDO Y CONTROL	MEDIDA Y CONTROL
CHIMAY	GR-1	REFRIGERACIÓN	AGUA DE REFRIGERACIÓN
CHIMAY	GR-1	TURBINA	COJINETE
CHIMAY	GR-1	TURBINA	REGULACIÓN DE VELOCIDAD
CHIMAY	GR-1	TURBINA	TURBINA
CHIMAY	GR-1	TURBINA	VÁLVULA PRINCIPAL
CHIMAY	GR-2	ALTERNADOR	ACEITE DE MANDO
CHIMAY	GR-2	ALTERNADOR	COJINETE
CHIMAY	GR-2	ALTERNADOR	CONTRA INCENDIOS
CHIMAY	GR-2	ALTERNADOR	EXCITACIÓN
CHIMAY	GR-2	ALTERNADOR	FRENADO
CHIMAY	GR-2	ALTERNADOR	LUBRICACIÓN
CHIMAY	GR-2	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL
CHIMAY	GR-2	ALTERNADOR	REFRIGERACIÓN
CHIMAY	GR-2	ELEM MANIOBRA 13.8KV	CELDA 13.8 KV G2
CHIMAY	GR-2	MANDO Y CONTROL	MEDIDA Y CONTROL
CHIMAY	GR-2	REFRIGERACIÓN	AGUA DE REFRIGERACIÓN
CHIMAY	GR-2	TURBINA	COJINETE
CHIMAY	GR-2	TURBINA	REGULACIÓN DE VELOCIDAD
CHIMAY	GR-2	TURBINA	TURBINA
CHIMAY	GR-2	TURBINA	VÁLVULA PRINCIPAL
CHIMAY	COMUNES	CÁMARA DE CARGA	COMPUERTAS
CHIMAY	COMUNES	CÁMARA DE CARGA	EQUIPOS AUXILIARES
CHIMAY	COMUNES	CONDUCTO FORZADO	TUBERÍA FORZADA
CHIMAY	COMUNES	ELEM MANIOBRA 0.22 KV	CELDA 0.22 KV ACOPL
CHIMAY	COMUNES	ELEM MANIOBRA 0.22 KV	CELDA 0.22 KV GD
CHIMAY	COMUNES	ELEM MANIOBRA 0.22 KV	CELDA 0.22 KV SE1
CHIMAY	COMUNES	ELEM MANIOBRA 0.22 KV	CELDA 0.22 KV SE2
CHIMAY	COMUNES	ELEM MANIOBRA 13.8 KV	CELDA 13.8 KV BOCATOMA
CHIMAY	COMUNES	ELEM MANIOBRA 13.8 KV	CELDA 13.8 KV SE1
CHIMAY	COMUNES	ELEM MANIOBRA 13.8 KV	CELDA 13.8 KV SE2
CHIMAY	COMUNES	ELEM MANIOBRA 13.8KV	CELDA 13.8 KV
CHIMAY	COMUNES	INSTALACIONES AUXILIARES	AGUA DE DRENAJE
CHIMAY	COMUNES	INSTALACIONES AUXILIARES	AGUA POTABLE
CHIMAY	COMUNES	INSTALACIONES AUXILIARES	AIRE ACONDICIONADO
CHIMAY	COMUNES	INSTALACIONES AUXILIARES	AIRE COMPRIMIDO
CHIMAY	COMUNES	INSTALACIONES AUXILIARES	EQUIPOS AUXILIARES
CHIMAY	COMUNES	MANDO Y CONTROL	MEDIDA Y CONTROL
CHIMAY	COMUNES	PRESAS Y BOCATOMAS	AGUA POTABLE
CHIMAY	COMUNES	PRESAS Y BOCATOMAS	COMPUERTAS
CHIMAY	COMUNES	PRESAS Y BOCATOMAS	CORRIENTE ALTERNA
CHIMAY	COMUNES	PRESAS Y BOCATOMAS	CORRIENTE CONTINUA
CHIMAY	COMUNES	PRESAS Y BOCATOMAS	EQUIPOS AUXILIARES
CHIMAY	COMUNES	PRESAS Y BOCATOMAS	MEDIDA Y CONTROL
CHIMAY	COMUNES	PRESAS Y BOCATOMAS	TRANSFORMADOR 13.8/0.23 KV
CHIMAY	COMUNES	PUENTES GRÚA	PUENTES GRÚA
CHIMAY	COMUNES	SERVICIOS AUXILIARES CA/CC	BARRAS 230VAC
CHIMAY	COMUNES	SERVICIOS AUXILIARES CA/CC	CORRIENTE ALTERNA
CHIMAY	COMUNES	SERVICIOS AUXILIARES CA/CC	CORRIENTE ALTERNA SEGURA
CHIMAY	COMUNES	SERVICIOS AUXILIARES CA/CC	CORRIENTE CONTINUA
CHIMAY	COMUNES	TELECOMUNICACIONES	TELECOMUNICACIONES
CHIMAY	COMUNES	TELECOMUNICACIONES	TELECONTROL
CHIMAY	COMUNES	TELECOMUNICACIONES	TELEFONÍA
CHIMAY	COMUNES	TRANSFORMACIÓN	MEDIDA Y CONTROL
CHIMAY	COMUNES	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 10/220 KV
CHIMAY	COMUNES	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8 /13.8 KV
CHIMAY	COMUNES	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/0.23 KV SE1
CHIMAY	COMUNES	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/0.23 KV SE2
CHIMAY	COMUNES	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 220/13.8KV
CHIMAY	SISTEMAS DE APOYO	PUENTE GRÚA	PUENTE GRÚA
CHIMAY	SS.EE. 220 KV	EDIFICIOS, TERRENOS Y ACCESOS	TERRENOS
CHIMAY	SS.EE. 220 KV	ELEM MANIOBRA 220 KV	CELDA 220 KV L257
CHIMAY	SS.EE. 220 KV	PROTECCIÓN	CELDA 220 KV

Tabla 4.2 - Sistemas y subsistemas central Chimay

N°	CENTRAL	GRUPO	TIPO	DESCRIPCIÓN	Día Inicio	Hora Inicio	Día Finaliz.	Hora Finaliz.	Duración	hh	mm	Duración Hrs.
ED-069/03	CHIMAY	GR-1	MF	Retiro de canastilla del sistema de succión agua de refrigeración GR-1	11/01/2003	06:08	11-Ene	07:31	01:23	1	23	1.38
ED-070/03	CHIMAY	GR-2	MF	Retiro de canastilla del sistema de succión agua de refrigeración GR-2	11/01/2003	06:17	11-Ene	07:31	01:14	1	14	1.23
ED-132/03	CHIMAY	GR-2	MF	Regulación del sello del eje	09/03/2003	01:55	09-Mar	03:27	01:32	1	32	1.53
ED-275/03	CHIMAY	GR-2	MF	Unidad fuera de servicio por fuerte pérdida de agua por el sistema de refrigeración sello del eje axial de turbina grupos 1 y 2 para disminuir el consumo de agua de refrigeración. Se aisló el punto en falla y puso en servicio la bomba de servicios de respaldo.	12/05/2003	20:10	12-May	20:38	00:28	0	28	0.47
ED-380/03	CHIMAY	GR-1	MF	Descarga a tierra en barra 13.8 kV por filtración de lluvia por el techo, la central estaba f/s por operación. Se hizo prueba de aislamiento oK.	08/08/2003	02:54	08-Ago	08:20	05:26	5	26	5.43
ED-381/03	CHIMAY	GR-2	MF	Descarga a tierra en barra 13.8 kV por filtración de lluvia por el techo, la central estaba f/s por operación. Se hizo prueba de aislamiento oK.	08/08/2003	02:54	08-Ago	08:20	05:26	5	26	5.43
ED-564/03	CHIMAY	GR-2	MCR	Falla en el convertidor de medida, no habia señal de MW	07/12/2003	16:51	07-Dic	17:18	00:27	0	27	0.45
ED-598/03	CHIMAY	GR-1	MF	Por falla de relé auxiliar que predispone la unidad para la toma de carga, esta bajó su carga de 75 a 2 MW.	22/12/2003	16:30	23-Dic	01:10	08:40	8	40	8.67
ED-599/03	CHIMAY	GR-2	MF	Por falla de relé auxiliar que predispone la unidad para la toma de carga, esta bajó su carga de 75 a 1 MW.	22/12/2003	16:30	23-Dic	01:26	08:58	8	58	8.97
ED-093/03	CHIMAY	GR-1	MCL	Mantenimiento de cola del sistema de refrigeración del alternador y mantenimiento eléctrico preventivo.	24/02/2004	08:00	24-Feb	12:22	04:22	4	22	4.37
ED-141/04	CHIMAY	GR-2	SU	Trip: Grupo desconectó por error de operación en el circuito de agua de refrigeración del aceite del cojinete de empuje.	02/04/2004	11:43	02-Abr	11:55	00:12	0	12	0.20
ED-142/03	CHIMAY	GR-1	SU	Trip: Grupo desconectó por error de operación en el circuito de agua de refrigeración del aceite del cojinete de empuje.	02/04/2004	11:47	02-Abr	11:57	00:10	0	10	0.17
ED-154/03	CHIMAY	GR-2	SU	Rotura de tubería de compensación ubicada entre los alámbres 21 y 22.	10/04/2004	20:17	11-Abr	19:35	23:18	23	18	23.30
ED-157/03	CHIMAY	GR-1	MCR	Trabajos previos de refuerzo de soldadura del sistema de compensación.	12/04/2004	00:10	12-Abr	05:47	05:37	5	37	5.62
ED-259/03	CHIMAY	GR-1	SU	Grupo descargó 60 MW debido a disparo por potencia inversa.	18/06/2004	21:18	19-Jun	08:50	11:32	11	32	11.53
ED-260/03	CHIMAY	GR-1	SU	Grupo descargó 30 MW debido a disparo por corriente inducida en el eje.	19/06/2004	09:12	19-Jun	10:51	01:39	1	39	1.65
ED-260/03	CHIMAY	GR-1	SU	Grupo descargó 63 MW debido a disparo por potencia inversa.	19/06/2004	12:05	19-Jun	21:44	09:39	9	39	9.65
ED-261/03	CHIMAY	GR-1	MF	Mantenimiento correctivo por falla debido al disparo por potencia inversa.	19/06/2004	23:00	19-Jun	23:32	00:32	0	32	0.53
ED-312/03	CHIMAY	GR-1	SU	Trip: se dio orden de cierre de válvula mariposa del grupo 1 en lugar del grupo 2.	01/08/2004	18:14	01-Ago	18:30	00:16	0	16	0.27
ED-446/03	CHIMAY	GR-2	CFI	Cambio de relé de alimentación tarjeta de válvula de control del regulador de velocidad.	25/10/2004	23:00	25-Oct	23:41	00:41	0	41	0.68
ED-136/05	CHIMAY	GR-2	MCR	Unidad fuera de servicio por falla de la bomba agua de refrigeración.	09/03/2005	20:08	09-Mar	20:29	00:21	0	21	0.35
ED-061/05	CHIMAY	GR-2	CFI	Descarga súbita de 72 a 0 MW, cuando se incrementaba de 45 a 75 MW, no abrió interruptor, este se abrió a las 06:34	24/11/2005	06:35	24-Nov	11:40	05:05	5	5	5.08
ED-465/05	CHIMAY	G-2	CFI	Revisión de circuito de control del distribuidor turbina	30/11/2005	08:19	30-Nov	18:46	10:27	10	27	10.45
ED-467/05	CHIMAY	GR-2	CFI	Descarga súbita 64 MW, cuando subía a plena carga. Alarma ALABE DISTRIBUIDOR SIN CARGA, relacionado al regulador de velocidad. Causa no determinada, queda limitado a 50 MW.	02/12/2005	00:33	02-Dic	00:52	00:19	0	19	0.32
ED-480/05	CHIMAY	GR-2	PLI	queda limitado a 50mw, para evitar posible "descarga intempestiva".	02/12/2005	00:52	03-Dic	00:00	23:08	23	8	23.13
ED-492/05	CHIMAY	GR-2	PLI	queda limitado a 50mw, para evitar posible "descarga intempestiva".	03/12/2005	00:00	03-Dic	00:20	00:20	0	20	0.33
ED-502/05	CHIMAY	GR-2	MCR	Cambio de relés principal y redundante asociado al control del interruptor y los de vigilancia de tensión al regulador de velocidad.	03/12/2005	00:20	03-Dic	05:48	05:28	5	28	5.47

Tabla 4.3 - Fallas presentadas en central Chimay periodo 2003 - 2005

N°	CENTRAL	GRUPO	SISTEMA	SUBSISTEMA	TIPO	DESCRIPCIÓN	Día Inicio	Hora Inicio	Día Finaliz.	Hora Finaliz.	Duración	hh	mm	Duración Hrs.
ED-069/03	CHIMAY	GR-1	Refrigeración	Agua de Refrigeración	MF	Retiro de canastilla del sistema de succión agua de refrigeración GR-1	11/01/2003	06:08	11/01/2003	07:31	01:23	1	23	1.38
ED-070/03	CHIMAY	GR-2	Refrigeración	Agua de Refrigeración	MF	Retiro de canastilla del sistema de succión agua de refrigeración GR-2	11/01/2003	06:17	11/01/2003	07:31	01:14	1	14	1.23
ED-132/03	CHIMAY	GR-2	Turbina	Cojinete	MF	Regulación del sello del eje	09/03/2003	01:55	09/03/2003	03:27	01:32	1	32	1.53
ED-275/03	CHIMAY	GR-2	Refrigeración	Agua de Refrigeración	MF	Unidad fuera de servicio por fuerte pérdida de agua por el sistema de refrigeración sello del eje axial de turbina grupos 1 y 2 para disminuir el consumo de agua de refrigeración. Se aisló el punto en falla y puso en servicio la bomba de servicios de respaldo.	12/05/2003	20:10	12/05/2003	20:38	00:28	0	28	0.47
ED-380/03	CHIMAY	GR-1	Elem Maniobra 13.8KV	Barra 13.8KV	MF	Descarga a tierra en barra 13.8 kV por filtración de lluvia por el techo, la central estaba f/s por operación. Se hizo prueba de aislamiento ok.	08/08/2003	02:54	08/08/2003	08:20	05:26	5	26	5.43
ED-381/03	CHIMAY	GR-2	Elem Maniobra 13.8KV	Barra 13.8KV	MF	Descarga a tierra en barra 13.8 kV por filtración de lluvia por el techo, la central estaba f/s por operación. Se hizo prueba de aislamiento ok.	08/08/2003	02:54	08/08/2003	08:20	05:26	5	26	5.43
ED-584/03	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MCR	Falla en el convertidor de medida, no había señal de MW	07/12/2003	18:51	07/12/2003	17:18	00:27	0	27	0.45
ED-598/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	MF	Por falla de relé auxiliar que predispone la unidad para la toma de carga, esta bajo su carga de 75 a 1 MW.	22/12/2003	16:30	23/12/2003	01:10	08:40	8	40	8.67
ED-599/03	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MF	Por falla de relé auxiliar que predispone la unidad para la toma de carga, esta bajo su carga de 75 a 1 MW.	22/12/2003	16:30	23/12/2003	01:26	08:58	8	58	8.97
ED-093/03	CHIMAY	GR-1	Refrigeración	Agua de Refrigeración	MCL	Mantenimiento de cola del sistema de refrigeración del alternador y mantenimiento eléctrico preventivo.	24/02/2004	08:00	24/02/2004	12:22	04:22	4	22	4.37
ED-141/04	CHIMAY	GR-2	Alternador	Refrigeración	SU	Trip: Grupo desconectó por error de operación en el circuito de agua de refrigeración del aceite del cojinete de empuje.	02/04/2004	11:43	02/04/2004	11:55	00:12	0	12	0.20
ED-142/03	CHIMAY	GR-1	Alternador	Refrigeración	SU	Trip: Grupo desconectó por error de operación en el circuito de agua de refrigeración del aceite del cojinete de empuje.	02/04/2004	11:47	02/04/2004	11:57	00:10	0	10	0.17
ED-154/03	CHIMAY	GR-2	Turbina	Turbina	SU	Rotura de tubería de compensación ubicada entre los alabes 21 y 22.	10/04/2004	20:17	11/04/2004	19:35	23:18	23	18	23.30
ED-157/03	CHIMAY	GR-1	Turbina	Turbina	MCR	Trabajos previos de refuerzo de soldadura del sistema de compensación.	12/04/2004	00:10	12/04/2004	05:47	05:37	5	37	5.82
ED-259/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 60 MW debido a disparo por potencia inversa.	18/06/2004	21:18	19/06/2004	08:50	11:32	11	32	11.53
ED-260/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 30 MW debido a disparo por corriente inducida en el eje.	19/06/2004	09:12	19/06/2004	10:51	01:39	1	39	1.85
ED-260/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 63 MW debido a disparo por potencia inversa.	19/06/2004	12:05	19/06/2004	21:44	09:39	9	39	9.65
ED-261/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	MF	Mantenimiento correctivo por falla debido al disparo por potencia inversa.	19/06/2004	23:00	19/06/2004	23:32	00:32	0	32	0.53
ED-312/03	CHIMAY	GR-1	Turbina	Válvula Principal	SU	Trip: se dio orden de cierre de válvula mariposa del grupo 1 en lugar del grupo 2.	01/08/2004	18:14	01/08/2004	18:30	00:16	0	16	0.27
ED-446/03	CHIMAY	GR-2	Turbina	Regulación de Velocidad	CFI	Cambio de relé de alimentación tarjeta de válvula de control del regulador de velocidad.	25/10/2004	23:00	25/10/2004	23:41	00:41	0	41	0.88
ED-136/05	CHIMAY	GR-2	Refrigeración	Agua de Refrigeración	MCR	Unidad fuera de servicio por falla de la bomba agua de refrigeración.	09/03/2005	20:08	09/03/2005	20:29	00:21	0	21	0.35
ED-061/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	CFI	Descarga súbita de 72 a 0 MW, cuando se incrementaba de 45 a 75 MW, no abrió interruptor, este se abrió a las 06:34	24/11/2005	06:35	24/11/2005	11:40	05:05	5	5	5.08
ED-465/05	CHIMAY	G-2	Turbina	Regulación de Velocidad	CFI	Revisión de circuito de control del distribuidor turbina	30/11/2005	08:19	30/11/2005	18:46	10:27	10	27	10.45
ED-487/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	CFI	Descarga súbita 64 MW, cuando subía a plena carga. Alarma ALABE DISTRIBUIDOR SIN CARGA, relacionado al regulador de velocidad. Causa no determinada, queda limitado a 50 MW.	02/12/2005	00:33	02/12/2005	00:52	00:19	0	19	0.32
ED-480/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	PLI	queda limitado a 50mw, para evitar posible "descarga intempestiva".	02/12/2005	00:52	03/12/2005	00:00	23:08	23	8	23.13
ED-492/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	PLI	queda limitado a 50mw, para evitar posible "descarga intempestiva".	03/12/2005	00:00	03/12/2005	00:20	00:20	0	20	0.33
ED-502/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MCR	Cambio de relés principal y redundante asociado al control del interruptor y los de vigilancia de tensión al regulador de velocidad.	03/12/2005	00:20	03/12/2005	05:48	05:28	5	28	5.47

Tabla 4.4 - Fallas presentadas por sistema y subsistema en central Chimay periodo 2003 - 2005

CENTRAL	GRUPO	SISTEMA	SUBSISTEMA	FALLA Y OCURRENCIA	IMPACTO PRODUCTIVO	IMPACTO MANTENIMIENTO	IMPACTO SEGURIDAD
CHIMAY	GR-1	Refrigeración	Agua de Refrigeración	Falla Sistema Agua de Refrigeración	SI	SI	NO
CHIMAY	GR-2	Refrigeración	Agua de Refrigeración	Falla Sistema Agua de Refrigeración	SI	SI	NO
CHIMAY	GR-2	Turbina	Cojinete	Falla Sistema Turbina	SI	SI	NO
CHIMAY	GR-1	Elem Maniobra 13.8kV	Barras 13.8kV	Falla Sistema Elem Maniobra 13.8kV	SI	SI	NO
CHIMAY	GR-2	Elem Maniobra 13.8kV	Barras 13.8kV	Falla Sistema Elem Maniobra 13.8kV	SI	SI	NO
CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	Falla Sistema Mando y Control	SI	SI	NO
CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	Falla Sistema Mando y Control	SI	SI	NO
CHIMAY	GR-2	Alternador	Refrigeración	Falla Sistema Alternador	SI	SI	NO
CHIMAY	GR-1	Alternador	Refrigeración	Falla Sistema Alternador	SI	SI	NO
CHIMAY	GR-2	Turbina	Turbina	Falla Sistema Turbina	SI	SI	NO
CHIMAY	GR-1	Turbina	Turbina	Falla Sistema Turbina	SI	SI	NO
CHIMAY	GR-1	Turbina	Válvula Principal	Falla Sistema Turbina	SI	SI	NO
CHIMAY	GR-2	Turbina	Regulación de Velocidad	Falla Sistema Turbina	SI	SI	NO

Tabla 4.5 - Identificación proactiva de las fallas ocurridas

Seguidamente establecemos las frecuencias de las fallas u ocurrencias presentadas en la tabla 4.6 y establecemos una estadística de las fallas presentadas en la figura 4.12.

Falla y Ocurrencia	Frecuencia	Valor proporcional	Valor acumulado	Evento
Falla Sistema Mando y Control	12	44.44%	44.44%	F1
Falla Sistema Turbina	6	22.22%	66.67%	F2
Falla Sistema Agua de Refrigeración	5	18.52%	85.19%	F3
Falla Sistema Elem Maniobra 13.8kV	2	7.41%	92.59%	F4
Falla Sistema Alternador	2	7.41%	100.00%	F5
TOTAL FALLAS	27			

Tabla 4.6 – Fallas vs Frecuencias

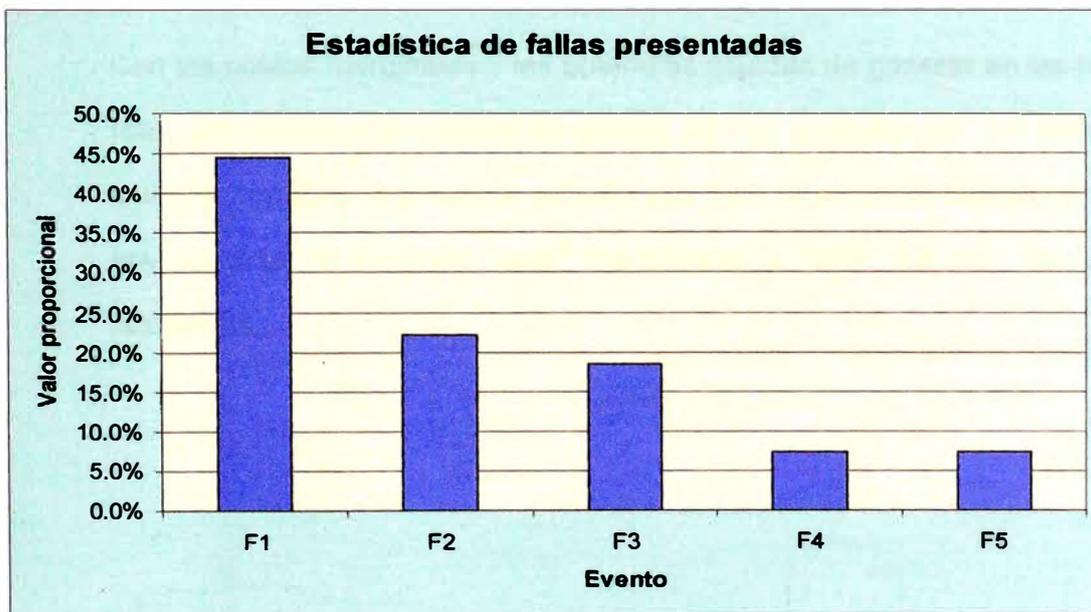


Figura 4.12 – Estadística de fallas presentadas

Seguidamente procedemos a calcular los costos debido a las fallas presentadas, para la presente evaluación solo consideraremos los costos por perdida de producción es decir la energía que se dejo de vender durante las fallas, no consideraremos los costos de operación, mantenimiento y administración. Utilizaremos los costos marginales promedio mensuales según estadística del COES, que se muestran en la siguiente tabla:

MESES	2003	2004	2005
Enero	13.1	51.2	22.7
Febrero	16.4	36.6	21.9
Marzo	21.6	32.5	29.5
Abril	11.1	54.5	30
Mayo	20.3	108.5	91.2
Junio	43.2	99.4	74.7
Julio	57.4	97.6	47.1
Agosto	67.6	111.6	92.8
Septiembre	61.3	112.4	85.1
Octubre	58.1	64.1	91.3
Noviembre	65.9	23.9	98.8
Diciembre	24.0	31.5	75.2

Tabla 4.7 – Costos marginales promedio (\$/MWh)

Con los costos marginales y las potencias dejadas de generar en las horas de falla, procedemos a realizar el cálculo de las pérdidas por no producción, asumiremos para el presente estudio que toda la potencia dejada de generar era vendida al mercado spot. Mostramos la tabla 4.8 con los cálculos realizados.

N°	CENTRAL	GRUPO	SISTEMA	SUBSISTEMA	TIPO	DESCRIPCIÓN	Día Inicio	POTENCIA (MW)	Duración Hrs.	Costo marginal (\$/MWh)	Costo Total (USD\$)
ED-069/03	CHIMAY	GR-1	Refrigeración	Agua de Refrigeración	MF	Retiro de canastilla del sistema de succión agua de refrigeración GR-1	11/01/2003	0.00	1.38	13.10	0.00
ED-070/03	CHIMAY	GR-2	Refrigeración	Agua de Refrigeración	MF	Retiro de canastilla del sistema de succión agua de refrigeración GR-2	11/01/2003	0.00	1.23	13.10	0.00
ED-132/03	CHIMAY	GR-2	Turbina	Cojinete	MF	Regulación del sello del eje.	09/03/2003	74.00	1.53	21.60	2450.88
ED-275/03	CHIMAY	GR-2	Refrigeración	Agua de Refrigeración	MF	Unidad fuera de servicio por fuerte pérdida de agua por el sistema de refrigeración sello del eje axial de turbina grupos 1 y 2 para disminuir el consumo de agua de refrigeración. Se aisló el punto en falla y puso en servicio la bomba de servicios de respaldo.	12/05/2003	74.00	0.47	20.30	701.03
ED-380/03	CHIMAY	GR-1	Elem Maniobra 13.8kV	Barras 13.8kV	MF	Descarga a tierra en barra 13.8 kV por filtración de lluvia por el techo, la central estaba f/s por operación. Se hizo prueba de aislamiento OK.	08/08/2003	74.00	5.43	64.80	25973.51
ED-381/03	CHIMAY	GR-2	Elem Maniobra 13.8kV	Barras 13.8kV	MF	Descarga a tierra en barra 13.8 kV por filtración de lluvia por el techo, la central estaba f/s por operación. Se hizo prueba de aislamiento OK.	08/08/2003	74.00	5.43	64.60	25973.51
ED-564/03	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MCR	Falla en el convertidor de medida, no había señal de MW	07/12/2003	75.00	0.45	61.30	2068.88
ED-598/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	MF	Por falla de relé auxiliar que predispone la unidad para la toma de carga, esta bajó su carga de 75 a 2 MW.	22/12/2003	75.00	8.67	24.00	15600.00
ED-599/03	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MF	Por falla de relé auxiliar que predispone la unidad para la toma de carga, esta bajó su carga de 75 a 1 MW.	22/12/2003	75.00	8.97	24.00	16140.00
ED-093/03	CHIMAY	GR-1	Refrigeración	Agua de Refrigeración	MCL	Mantenimiento de cola del sistema de refrigeración del alternador y mantenimiento eléctrico preventivo.	24/02/2004	75.00	4.37	36.60	11986.50
ED-141/04	CHIMAY	GR-2	Alternador	Refrigeración	SU	Trip: Grupo desconectó por error de operación en el circuito de agua de refrigeración del aceite del cojinete de empuje.	02/04/2004	75.00	0.20	54.50	817.50
ED-142/03	CHIMAY	GR-1	Alternador	Refrigeración	SU	Trip: Grupo desconectó por error de operación en el circuito de agua de refrigeración del aceite del cojinete de empuje.	02/04/2004	75.00	0.17	54.50	681.25
ED-154/03	CHIMAY	GR-2	Turbina	Turbina	SU	Rotura de tubería de compensación ubicada entre los alabes 21 y 22.	10/04/2004	75.00	23.30	54.50	95238.75
ED-157/03	CHIMAY	GR-1	Turbina	Turbina	MCR	Trabajos previos de refuerzo de soldadura del sistema de compensación.	12/04/2004	75.00	5.62	54.50	22958.13
ED-259/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 60 MW debido a disparo por potencia inversa.	18/06/2004	60.00	11.53	99.40	68784.80
ED-260/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 30 MW debido a disparo por corriente inducida en el eje.	19/06/2004	30.00	1.65	99.40	4920.30
ED-260/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 63 MW debido a disparo por potencia inversa.	19/06/2004	63.00	9.65	99.40	60430.23
ED-261/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	MF	Mantenimiento correctivo por falla debido al disparo por potencia inversa.	19/06/2004	75.00	0.53	99.40	3976.00
ED-312/03	CHIMAY	GR-1	Turbina	Válvula Principal	SU	Trip: se dio orden de cierre de válvula manípulo del grupo 1 en lugar del grupo 2.	01/08/2004	75.00	0.27	111.60	2232.00
ED-446/03	CHIMAY	GR-2	Turbina	Regulación de Velocidad	CFI	Cambio de relé de alimentación tarjeta de válvula de control del regulador de velocidad.	25/10/2004	75.00	0.68	64.10	3285.13
ED-136/05	CHIMAY	GR-2	Refrigeración	Agua de Refrigeración	MCR	Unidad fuera de servicio por falla de la bomba agua de refrigeración.	09/03/2005	75.00	0.35	29.50	774.38
ED-061/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	CFI	Descarga súbita de 72 a 0 MW, cuando se incrementaba de 45 a 75 MW, no abrió interruptor, este se abrió a las 06:34	24/11/2005	75.00	5.08	98.80	37667.50
ED-465/05	CHIMAY	G-2	Turbina	Regulación de Velocidad	CFI	Revisión de circuito de control del distribuidor turbina	30/11/2005	75.00	10.45	98.80	77434.50
ED-467/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	CFI	Descarga súbita 64 MW, cuando subía a plena carga. Alarma ALABE DISTRIBUIDOR SIN CARGA, relacionado al regulador de velocidad. Causa no determinada, queda limitado a 50 MW.	02/12/2005	25.00	0.32	75.20	595.33
ED-480/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	PLI	queda limitado a 50mw, para evitar posible "descarga intertempista".	02/12/2005	25.00	23.13	75.20	43490.67
ED-492/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	PLI	queda limitado a 50mw, para evitar posible "descarga intertempista".	03/12/2005	25.00	0.33	75.20	626.67
ED-502/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MCR	Cambio de relés principal y redundante asociado al control del interruptor y los de vigilancia de tensión al regulador de velocidad.	03/12/2005	75.00	5.47	75.20	30832.00

Tabla 4.8 - Costos de las fallas ocurridas en el periodo 2003 - 2005

Con los datos realizamos los cálculos para estimar las pérdidas económicas por tipo de falla y ocurrencia (tabla 4.9) y se realiza el grafico (Fig. 4.13).

Falla y ocurrencia	Costo total (USD\$)	Valor proporcional	Valor acumulado	Evento
Falla Sistema Mando y Control	285132.37	51.32%	51.32%	F1
Falla Sistema Turbina	203599.38	36.64%	87.96%	F2
Falla Sistema Elem Maniobra 13.8kV	51947.01	9.35%	97.31%	F4
Falla Sistema Agua de Refrigeración	13461.90	2.42%	99.73%	F3
Falla Sistema Alternador	1498.75	0.27%	100.00%	F5
COSTO TOTAL FALLAS (USD\$)	555639.42			

Tabla 4.9 – Fallas vs Costos

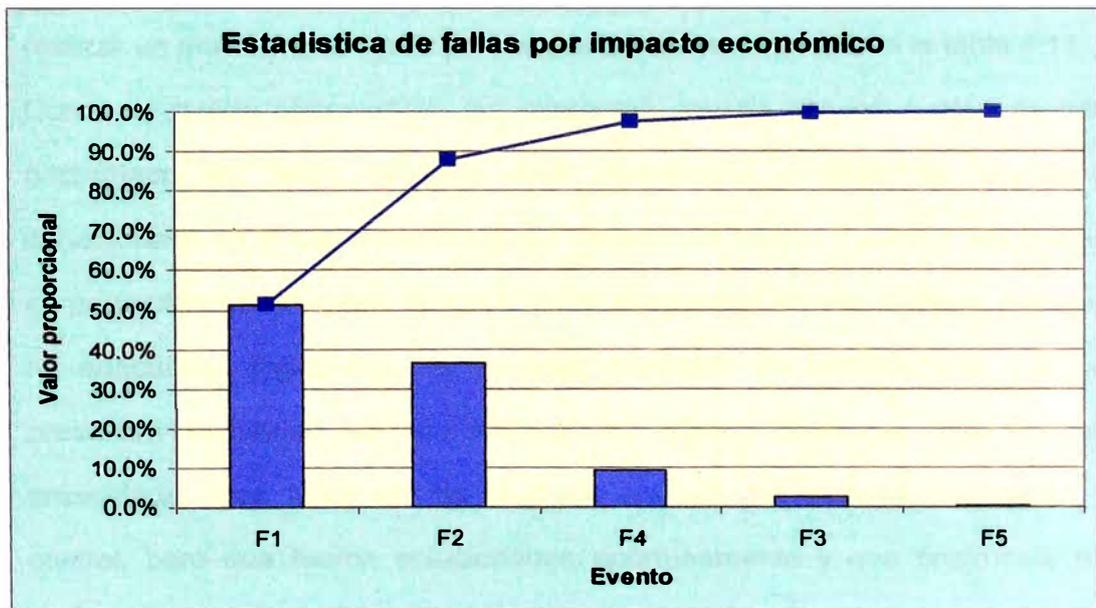


Figura 4.13 – Estadística de fallas por impacto económico

Según los cuadros anteriores aplicamos Pareto y determinamos las fallas de clase "A" que son las de mayor incidencia en la central y que ocasionan el 70% de las pérdidas de producción (tabla 4.10).

Falla y ocurrencia	Evento	% Perdidas acumulada	Frec	Clase falla
Falla Sistema Mando y Control	F1	51.32%	12	A
Falla Sistema Turbina	F2	87.96%	6	A
Falla Sistema Elem Maniobra 13.8kV	F4	97.31%	5	B
Falla Sistema Agua de Refrigeracion	F3	99.73%	2	C
Falla Sistema Alternador	F5	100.00%	2	C

Tabla 4.10 – Pareto clasificando las fallas de clase A

Deducimos que la falla con mayor frecuencia y con mayor costo durante el periodo de análisis, recae en las fallas del sistema de mando y control. Por lo cual se debe realizar un análisis proactivo de esta.

4.3.2.2 Análisis Proactivo de las fallas

Con las fallas presentadas en el Sistema de Mando y Control se procede a realizar un análisis para hallar las causas de estas, se presenta la tabla 4.11

Como se puede observar en las diferentes causas por las cuales se han presentado las fallas, siempre está relacionada a fallas de equipo o conexionado en la lógica cableada del sistema de mando y control, las cuales se presentan por diversos factores como antigüedad de los equipos, equipos no adecuados (reles que se queman, borneras de conexionado que no presentan seguridad en sus conexiones). Cabe mencionar que se han presentado otras fallas en los diversos equipos del sistema de mando y control, pero que fueron solucionados oportunamente y que finalmente no ocasionaron ninguna pérdida de producción.

Esto finalmente indica que para el servicio continuo de la central, el sistema de lógica cableada como algunos de sus componentes no es adecuado para la instalación y tampoco para el correcto funcionamiento de la central.

N°	CENTRAL	GRUPO	SISTEMA	SUBSISTEMA	DESCRIPCIÓN	CAUSA DE LA FALLA
ED-564/03	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	Falla en el convertidor de medida, no había señal de MW	Falla de un equipo de conversión de señal de potencia
ED-598/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	Por falla de relé auxiliar que predispone la unidad para la toma de carga, esta bajó su carga de 75 a 2 MW.	Se quema un rele que monitoreaba la señal "Interrupor de 220kV cerrado" y que esta dentro de la lógica cableada
ED-599/03	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	Por falla de relé auxiliar que predispone la unidad para la toma de carga, esta bajó su carga de 75 a 1 MW.	Se quema un rele que monitoreaba la señal "Interrupor de 220kV cerrado" y que esta dentro de la lógica cableada
ED-259/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	Grupo descargó 60 MW debido a disparo por potencia inversa.	Debido a que uno de los bornes del sensor de posición del distribuidos se encontraba flojo y por la alta vibración a esa carga, se perdía la señal de la posición del distribuidor la cual causa un cierre inmediato de este
ED-260/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	Grupo descargó 30 MW debido a disparo por corriente inducida en el eje.	Se presenta mala conexión en uno de los punto de la lógica cableada, realizada después de una mantenimiento.
ED-260/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	Grupo descargó 63 MW debido a disparo por potencia inversa.	Debido a que uno de los bornes del sensor de posición del distribuidos se encontraba flojo y por la alta vibración a esa carga, se perdía la señal de la posición del distribuidor la cual causa un cierre inmediato de este
ED-261/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	Mantenimiento correctivo por falla debido al disparo por potencia inversa.	Debido a que uno de los bornes del sensor de posición del distribuidos se encontraba flojo y por la alta vibración a esa carga, se perdía la señal de la posición del distribuidor la cual causa un cierre inmediato de este
ED-061/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	Descarga súbita de 72 a 0 MW, cuando se incrementaba de 45 a 75 MW, no abrió interruptor, este se abrió a las 06:34	Debido a que uno de los bornes del sensor de posición del distribuidos se encontraba flojo y por la alta vibración a esa carga, se perdía la señal de la posición del distribuidor la cual causa un cierre inmediato de este. Y también se presento una secuencia incompleta debido a que parte de la lógica cableada fallo
ED-467/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	Descarga súbita 64 MW, cuando subía a plena carga. Alarma ALABE DISTRIBUIDOR SIN CARGA, relacionado al regulador de velocidad. Causa no determinada, queda limitado a 50 MW.	Se pierde la señal de presión de trabajo del sistema oleo dinámico, debido a que se quemó un rele perteneciente a la lógica cableada
ED-480/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	queda limitado a 50mw, para evitar posible "descarga intempestiva".	Debido a un falso contacto en el rele que da la señal de presión de trabajo del sistema Oleodinámico, se pierde dicha señal momentáneamente lo cual origina el cierre intempestivo del distribuidor y por ende disparo de la unidad
ED-492/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	queda limitado a 50mw, para evitar posible "descarga intempestiva".	Debido a un falso contacto en el rele que da la señal de presión de trabajo del sistema Oleodinámico, se pierde dicha señal momentáneamente lo cual origina el cierre intempestivo del distribuidor y por ende disparo de la unidad
ED-502/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	Cambio de relés principal y redundante asociado al control del interruptor y los de vigilancia de tensión al regulador de velocidad.	Se realiza cambio de reles que dan la señal "Interrupor de 220kV Cerrado" por otros reles de marca mas confiable, debido a que los actualmente instalados se queman constantemente, los mismo sucede con los reles de vigilancia de tensión hacia el regulador de velocidad

Tabla 4.11 - Análisis proactivo de las fallas

4.3.3 Estimación del factor de disponibilidad

Este cálculo lo realizaremos en forma anual para cada año durante el periodo que se esta realizando el estudio. Para eso tomaremos en cuenta las horas de desconexión programada que son debido a mantenimientos programados, y también las horas de desconexión forzada que son debido a las fallas presentadas y también debido a mantenimientos correctivos no programados, datos tomados del control que lleva el área de planificación y control. Los datos se presentan en la tabla 4.12.

CENTRAL / MW	AÑO	GRUPO/MW	HORAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ACUM	DISP %	DISP.CENTRAL %	
CHIMAY 150.9 MW	2003		Desconex. Forzada	0.00	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.43	0.00	0.00	0.00	8.67	15.48	94.38%	94.41%	
		G-1	Desconex, Program.	2.82	17.80	4.80	191.77	193.37	0.00	4.97	19.45	0.00	10.07	0.00	31.37	476.40			
		75.5	Disponibles	741.18	652.82	739.20	528.23	550.63	720.00	739.03	719.12	720.00	733.93	720.00	703.97	8268.12			
			Desconex. Forzada	0.00	1.23	1.53	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	5.43	0.00	0.00	0.00	9.38	18.05		94.44%
		G-2	Desconex, Program.	4.68	17.80	5.62	223.62	184.78	0.00	0.00	11.25	0.00	10.53	0.00	10.32	468.60			
		75.4	Disponibles	739.32	652.97	736.85	496.38	558.75	720.00	744.00	727.32	720.00	733.47	720.00	724.30	8273.35			
	2004		Desconex. Forzada	0.00	4.37	0.00	5.78	0.00	23.37	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	33.78	96.18%	95.53%	
		G-1	Desconex, Program.	0.00	8.00	12.48	10.10	0.00	221.57	12.10	0.00	0.00	0.00	18.32	18.47	301.03			
		75.5	Disponibles	744.00	659.63	731.52	704.12	744.00	475.07	731.90	743.73	720.00	725.68	701.53	744.00	8425.18			
			Desconex. Forzada	0.00	0.00	0.00	23.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00	24.18	94.88%		
		G-2	Desconex, Program.	9.90	7.53	12.48	129.80	187.03	32.72	12.10	0.00	0.00	13.67	19.53	0.00	424.77			
		75.4	Disponibles	734.10	664.47	731.52	566.70	556.97	687.28	731.90	744.00	720.00	729.65	700.47	744.00	8311.05			
	2005		Desconex. Forzada	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	97.50%	97.36%	
		G-1	Desconex, Program.	9.92	9.80	9.00	106.48	9.15	7.00	40.65	0.00	7.00	11.98	8.25	0.00	219.23			
		75.5	Disponibles	734.08	662.20	735.00	613.52	734.85	713.00	703.35	744.00	713.00	732.02	711.75	744.00	8540.77			
			Desconex. Forzada	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.53	13.69	29.57	97.23%		
		G-2	Desconex, Program.	9.78	9.42	9.00	106.70	3.15	7.23	40.62	0.00	7.00	11.80	8.25	0.00	212.95			
		75.4	Disponibles	734.22	662.58	734.65	613.30	740.85	712.77	703.38	744.00	713.00	732.20	696.22	730.31	8517.48			

HORAS MENSUALES														
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL		
744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760		

Tabla 4.12 - Cálculo de disponibilidad periodos 2003, 2004 Y 2005

4.4 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Según lo definido en el capítulo 3, vamos a realizar una evaluación del sistema de mando y control basándonos en las características principales y secundarias, y teniendo en cuenta que una central hidroeléctrica es considerada de funcionamiento continuo debido a que su producción no debe parar, por cuestión de servicio y confiabilidad ante el organismo regulador del sistema.

4.4.1 Identificación de características principales

Para cada una de las características realizaremos una evaluación según las fallas presentadas.

4.4.1.1 Confiabilidad

El promedio de fallas ocurridas para cada año es de 4, que han ocasionado la salida de la central y por ende pérdida en la producción, mostrando que el sistema no responde a las condiciones de funcionamiento continuo el cual es requerido para este tipo de instalaciones.

4.4.1.2 Disponibilidad

La producción de la central ha sido detenida varias veces no solo por las fallas sino también para realizar modificaciones al sistema de mando y control para mejorar su confiabilidad pero las cuales no han sido satisfactorias.

4.4.1.3 Mantenibilidad

Debido a la concepción del sistema de control (combinación sistema lógica cableada y lógica programada), se ha creado tareas de mantenimiento especiales para realizar revisiones continuas al sistema de control, las cuales en algunos casos son largas debido a la cantidad de equipos que forman parte del sistema de mando y control.

4.4.1.4 Interoperabilidad

Por su concepción el sistema puede intercambiar datos mediante el uso del PLC y también procesos mediante adaptación a la lógica cableada la cual suele ser de un grado de dificultad mediano.

4.4.1.5 Flexibilidad

El sistema no es flexible, muchas modificaciones que se han realizado han requerido la inversión de tiempo y dinero para adecuar la tecnológica existente al sistema que se tiene.

4.4.1.6 Integración

El sistema es capaz de adaptarse a los equipos existentes actualmente, pero siempre mediante el uso de equipos adicionales para tener un funcionamiento adecuado.

4.4.1.7 Seguridad

El sistema opera siempre dentro de sus parámetros normales de funcionamiento.

4.4.1.8 Detección de fallas

El seguimiento de las fallas resulta ser de una manera difícil, debido a que se tienen muchos equipos y por ende muchas conexiones entre ellos, los cuales pueden llevar a confusiones.

4.4.2 Identificación de características secundarias

Se desarrolla a continuación cada una de ellas:

4.4.2.1 Instalación

Los equipos están organizados de tal forma que la instalación de un equipo nuevo no es problema, la dificultad radica en la conexión hacia los puntos necesarios para hacerlo trabajar conjuntamente con el sistema.

4.4.2.2 Programación

La modificación del programa dentro del PLC es de fácil acceso, en la lógica cableada se establece un grado de dificultad elevado, debido a que este es rígido y no manipulable de una manera sencilla.

4.4.2.3 Consumo de energía

El consumo por parte del sistema es mediano debido a que sus componentes a pesar de tener bajos requerimientos de energía por el número instalados eleva el requerimiento, especialmente en el caso de los reles.

4.4.2.4 Volumen

El espacio ocupado es relativamente grande, hablamos de 12 tableros solamente en la sala de control donde radica el sistema de mando y control principal.

4.4.2.5 Costo

La instalación fue entregada bajo una modalidad de contrato llave en mano, de la cual no se puede realizar una estimación de la inversión realizada.

4.4.3 Ponderación de características

En base a la evaluación realizada en los puntos anteriores podríamos realizar una ponderación de las características y poder estimar un peso para el sistema que actualmente esta funcionando. Se presenta la tabla 4.13 y 4.14.

Características Principales	Ponderacion
Confiabilidad	1
Disponibilidad	1
Mantenibilidad	1
Interoperabilidad	1
Flexibilidad	1
Integracion	1
Seguridad	2
Deteccion de fallas	1
TOTAL	9

Tabla 4.13 – Evaluación de las características principales

Características Secundarias	Ponderacion
Instalacion	1
Programacion	1
Consumo de energia	1
Volumen	0
Costo	1
TOTAL	4

Tabla 4.14 – Evaluación de las características secundarias

4.4.4 Evaluación final del Sistema

Si realizamos una sumatoria aritmética podríamos decir que tenemos una ponderación de 9 para las características principales y de 4 para las características secundarias, según esto podríamos afirmar que para el modo de operación de la instalación el sistema de mando y control no cubre con las condiciones mínimas, considerando que los sistemas actuales para este tipo de instalaciones llegan a tener una ponderación mínima total de 14 para características principales y de 7 para las características secundarias.

4.5 ESTIMACIÓN DEL LUCRO CESANTE

Para la estimación se considerara los costos fijos y variables que se tiene en la central. Los costos fijos serán los ocasionados por la administración, operación y mantenimiento de la central considerado en horas y los costos variables serán igual a las perdidas ocasionadas por las fallas del sistema de mando y control. La descripción de los costos anuales de operación y mantenimiento durante el periodo de análisis se especifica en la tabla 4.15 y se presenta el costo por hora por los costos fijos, y según las horas que han durado las fallas del sistema de mando y control se estima los costos totales por este rubro, tabla 4.16. Los costos ocasionados por las fallas del sistema de mando y control se presentan en la tabla 4.17. El lucro cesante será la sumatoria de estos costos durante las fallas, las cuales se presentan en la tabla 4.18.

AREA	RUBRO	2003 (S/.)	2004 (S/.)	2005 (S/.)
Administración	Personal Propio	70000.00	50000.00	55000.00
	Personal Contratado	0.00	520000.00	700000.00
	G. Diversos	27000.00	160000.00	160000.00
Operación	Personal Propio	840000.00	840000.00	840000.00
	Personal Contratado	118000.00	132000.00	140000.00
	Materiales	270000.00	510000.00	555000.00
Mantenimiento	Personal Propio	280000.00	280000.00	280000.00
	Personal Contratado	590000.00	660000.00	700000.00
	Materiales	180000.00	340000.00	370000.00
	TOTAL (S/.)	2375000.00	3492000.00	3800000.00
	COSTO HORA (S/.)	271.12	398.63	433.79
	COSTO HORA (\$)	80.93	118.99	129.49

Tabla 4.15 – Costos fijos anuales por hora central Chimay

N°	CENTRAL	GRUPO	SISTEMA	SUBSISTEMA	TIPO	DESCRIPCIÓN	Día Inicio	Duración Hrs.	Costo hora (\$/h)	Costo Total (USD\$)
ED-564/03	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MCR	Falla en el convertidor de medida, no había señal de MW	07/12/2003	0.45	80.93	36.42
ED-598/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	MF	Por falla de relé auxiliar que predispone la unidad para la toma de carga, esta bajó su carga de 75 a 2 MW.	22/12/2003	8.67	80.93	701.39
ED-599/03	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MF	Por falla de relé auxiliar que predispone la unidad para la toma de carga, esta bajó su carga de 75 a 1 MW.	22/12/2003	8.97	80.93	725.67
ED-259/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 60 MW debido a disparo por potencia inversa.	18/06/2004	11.53	118.99	1372.35
ED-260/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 30 MW debido a disparo por corriente inducida en el eje.	19/06/2004	1.65	118.99	196.33
ED-260/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 63 MW debido a disparo por potencia inversa.	19/06/2004	9.65	118.99	1148.25
ED-261/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	MF	Mantenimiento correctivo por falla debido al disparo por potencia inversa.	19/06/2004	0.53	118.99	63.46
ED-061/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	CFI	Descarga súbita de 72 a 0 MW, cuando se incrementaba de 45 a 75 MW, no abrió interruptor, este se abrió a las 06:34	24/11/2005	5.08	129.49	658.24
ED-467/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	CFI	Descarga súbita 64 MW, cuando subía a plena carga. Alarma ALABE DISTRIBUIDOR SIN CARGA, relacionado al regulador de velocidad. Causa no determinada, queda limitado a 50 MW.	02/12/2005	0.32	129.49	41.01
ED-480/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	PLI	queda limitado a 50mw, para evitar posible "descarga intempestiva".	02/12/2005	23.13	129.49	2995.54
ED-492/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	PLI	queda limitado a 50mw, para evitar posible "descarga intempestiva".	03/12/2005	0.33	129.49	43.16
ED-502/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MCR	Cambio de relés principal y redundante asociado al control del interruptor y los de vigilancia de tensión al regulador de velocidad.	03/12/2005	5.47	129.49	707.88

Tabla 4.16 - Costos fijos de las fallas ocurridas en el periodo 2003 - 2005

N°	CENTRAL	GRUPO	SISTEMA	SUBSISTEMA	TIPO	DESCRIPCIÓN	Día Inicio	POTENCIA (MW)	Duración Hrs.	Costo marginal (\$/MWh)	Costo Total (USD\$)
ED-564/03	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MCR	Falla en el convertidor de medida, no había señal de MW	07/12/2003	75.00	0.45	61.30	2068.88
ED-598/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	MF	Por falla de relé auxiliar que predispone la unidad para la toma de carga, esta bajó su carga de 75 a 2 MW.	22/12/2003	75.00	8.67	24.00	15600.00
ED-599/03	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MF	Por falla de relé auxiliar que predispone la unidad para la toma de carga, esta bajó su carga de 75 a 1 MW.	22/12/2003	75.00	8.97	24.00	16140.00
ED-259/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 60 MW debido a disparo por potencia inversa.	18/06/2004	60.00	11.53	99.40	68784.80
ED-260/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 30 MW debido a disparo por corriente inducida en el eje.	19/06/2004	30.00	1.65	99.40	4920.30
ED-260/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 63 MW debido a disparo por potencia inversa.	19/06/2004	63.00	9.65	99.40	60430.23
ED-261/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	MF	Mantenimiento correctivo por falla debido al disparo por potencia inversa.	19/06/2004	75.00	0.53	99.40	3976.00
ED-061/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	CFI	Descarga súbita de 72 a 0 MW, cuando se incrementaba de 45 a 75 MW, no abrió interruptor, este se abrió a las 06:34	24/11/2005	75.00	5.08	98.80	37667.50
ED-467/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	CFI	Descarga súbita 64 MW, cuando subía a plena carga. Alarma ALABE DISTRIBUIDOR SIN CARGA, relacionado al regulador de velocidad. Causa no determinada, queda limitado a 50 MW.	02/12/2005	25.00	0.32	75.20	595.33
ED-480/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	PLI	queda limitado a 50mw, para evitar posible "descarga intempestiva".	02/12/2005	25.00	23.13	75.20	43490.67
ED-492/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	PLI	queda limitado a 50mw, para evitar posible "descarga intempestiva".	03/12/2005	25.00	0.33	75.20	626.67
ED-502/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MCR	Cambio de relés principal y redundante asociado al control del interruptor y los de vigilancia de tensión al regulador de velocidad.	03/12/2005	75.00	5.47	75.20	30832.00

Tabla 4.17 - Costos variables de las fallas ocurridas en el periodo 2003 - 2005

N°	CENTRAL	GRUPO	SISTEMA	SUBSISTEMA	TIPO	DESCRIPCIÓN	Día Inicio	C. Fijo (USD\$)	C. Variable (USD\$)	Costo Total (USD\$)
ED-564/03	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MCR	Falla en el convertidor de medida, no había señal de MW	07/12/2003	36.42	2068.88	2105.29
ED-598/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	MF	Por falla de relé auxiliar que predispone la unidad para la toma de carga, esta bajó su carga de 75 a 2 MW.	22/12/2003	701.39	15600.00	16301.39
ED-599/03	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MF	Por falla de relé auxiliar que predispone la unidad para la toma de carga, esta bajó su carga de 75 a 1 MW.	22/12/2003	725.67	16140.00	16865.67
ED-259/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 60 MW debido a disparo por potencia inversa.	18/06/2004	1372.35	68784.80	70157.15
ED-260/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 30 MW debido a disparo por corriente inducida en el eje.	19/06/2004	196.33	4920.30	5116.63
ED-260/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	SU	Grupo descargó 63 MW debido a disparo por potencia inversa.	19/06/2004	1148.25	60430.23	61578.48
ED-261/03	CHIMAY	GR-1	Mando y Control	Medida y Control	MF	Mantenimiento correctivo por falla debido al disparo por potencia inversa.	19/06/2004	63.46	3976.00	4039.46
ED-061/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	CFI	Descarga súbita de 72 a 0 MW, cuando se incrementaba de 45 a 75 MW, no abrió interruptor, este se abrió a las 06:34	24/11/2005	658.24	37667.50	38325.74
ED-467/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	CFI	Descarga súbita 64 MW, cuando subía a plena carga. Alarma ALABE DISTRIBUIDOR SIN CARGA, relacionado al regulador de velocidad. Causa no determinada, queda limitado a 50 MW.	02/12/2005	41.01	595.33	636.34
ED-480/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	PLI	queda limitado a 50mw, para evitar posible "descarga intempestiva".	02/12/2005	2995.54	43490.67	46486.20
ED-492/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	PLI	queda limitado a 50mw, para evitar posible "descarga intempestiva".	03/12/2005	43.16	626.67	669.83
ED-502/05	CHIMAY	GR-2	Mando y Control	Medida y Control	MCR	Cambio de relés principal y redundante asociado al control del interruptor y los de vigilancia de tensión al regulador de velocidad.	03/12/2005	707.88	30832.00	31539.88

Tabla 4.18 - Lucro cesante de las fallas ocurridas en el periodo 2003 - 2005

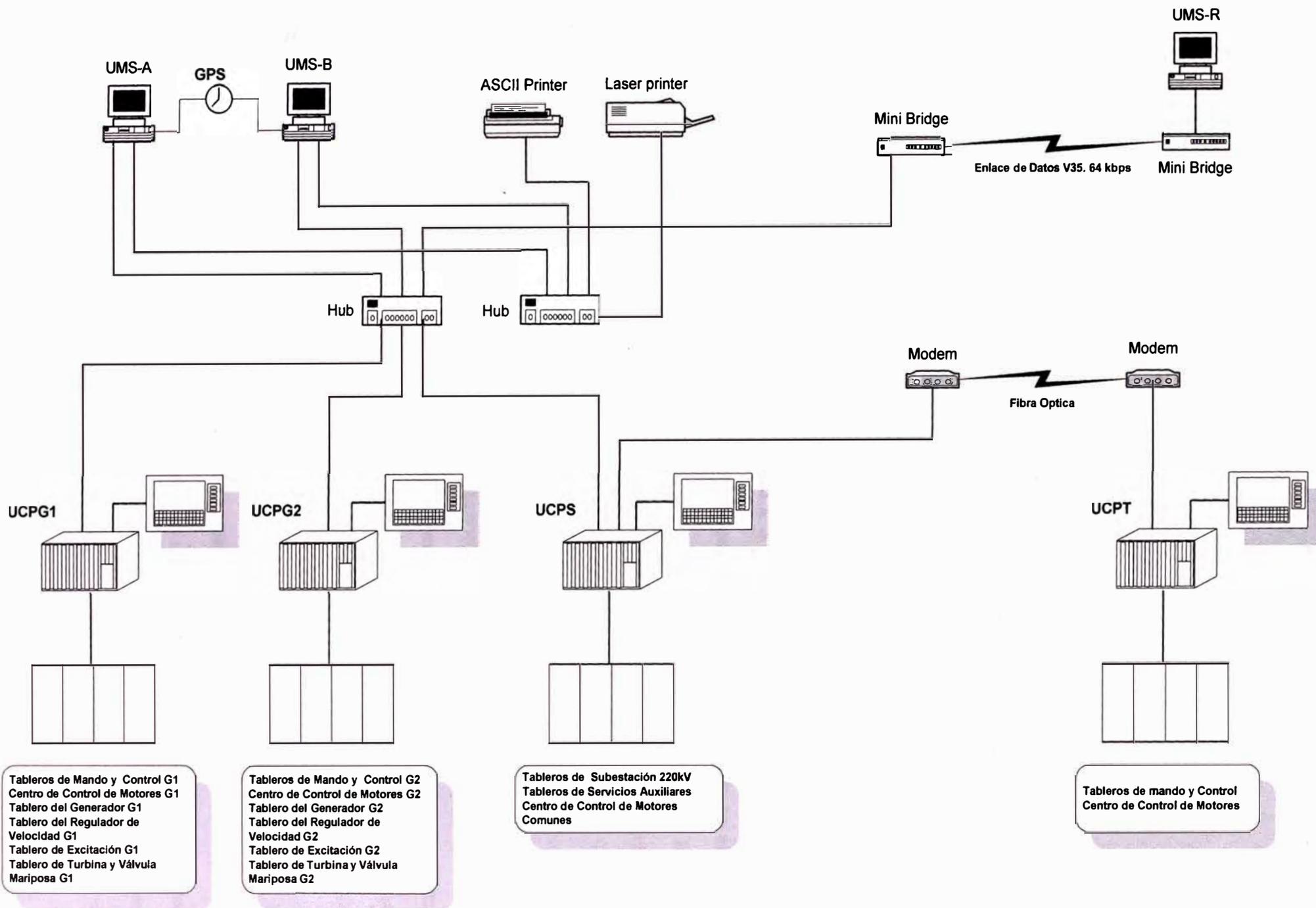


Figura 4.11 - ACTUAL SISTEMA DE MANDO Y CONTROL CENTRAL CHIMAY

CAPÍTULO 5

REDISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIMAY

5.1 INTRODUCCIÓN

Para realizar el rediseño del sistema de mando y control de la central, primero vamos a realizar una revisión al modo actual del sistema, es decir vamos a revisar algunos planos principales de conexionado y de mando, seguidamente realizaremos el análisis para modificar el sistema de acuerdo a la tecnología actual existente. Después se establecerán las pautas principales para realizar el rediseño del sistema, en el cual se establecerán las modificaciones a realizar tanto en la lógica cableada y la lógica programada existente, también las modificaciones a realizar a la estructura del sistema de control, con el fin de optimizar su funcionamiento.

5.2 REDISEÑO DEL SISTEMA

De acuerdo al análisis de Pareto realizado, el enfoque del rediseño se basará en la modificación al sistema de mando y control, los sistemas de lógica cableada, lógica programada y SCADA serán rediseñados para optimizar su funcionamiento y estar acorde con la tecnología actual.

5.2.1 Modificación del Sistema de Lógica Cableada

La modificación de la lógica cableada se basará en optimizar la forma en como son recibidas las señales de entrada digital y analógicas, la forma como son enviadas las señales de salida digital y analógicas, las lógicas de control de los sistemas principales y modificación de las lógicas de protección de la turbina.

5.2.1.1 Modificación señales digitales

Si nos fijamos en el plano 5.0, podemos apreciar que la señal de entrada digital desde campo "Interruptor Generador Abierto" llega hacia el rele +CB02-K162 y luego a través de sus contactos se lleva dicha señal hacia el PLC y también hacia otros puntos de la lógica cableada como se puede observar en los planos 5.1, 5.2 y 5.3. Como se aprecia en las figuras, ese tipo de arreglo implica un extenso conexionado entre los puntos que necesitan de dicha señal y por ende existe una probabilidad de falla debido a falso contacto, falla del rele o corte del cableado. La modificación que se propone realizar es eliminar el rele intermedio y hacer que la señal de campo ingrese directamente hacia un procesador de campo y luego esa información sea llevada al PLC y que en base a su programación se realicen las funciones de la lógica cableada. Se puede observar la modificación en el plano 5.4, en la cual se observa que los rele intermedios no forman parte del circuito y el cableado se ha reducido drásticamente y por ende la probabilidad de falla.

Para la salida digital "Bomba agua refrigeración orden arrancar" proveniente del PLC que se realiza a través del rele +CB03-K002, como se observa en el plano 5.5, por medio de sus contactos van a los puntos de campo necesario para realizar su función, planos 5.6 y 5.7. El uso de los rele a la salida de un PLC es siempre necesario porque permite realizar un aislamiento entre la salida y la carga a la que va conectada, pero en este caso se aprecia que del mismo rele están saliendo las señales para dos equipos distintos (Bomba 1 y Bombas 2 de agua de refrigeración), aquí se propone realizar una independencia en las señales para los dos equipos, usando un rele para cada equipo, como se observa en el plano 5.8.

5.2.1.2 Modificación señales analógicas

Debido a que el PLC actualmente instalado tiene módulos que reciben solo señales estándares de 4-20mA, usa equipos adicionales para convertir las señales de temperatura en señal estándar, lo que significa un elemento mas

en la lógica cableada, plano 5.9, también se tienen módulos que sirven como aisladores de señal que lo único que hacen es proteger a las entradas análogas de los módulos, plano 5.10. La modificación que se propone es usar módulos que reciben todo tipo de señales 4-20mA, señales de temperatura (Pt-100, termocupla, etc), las cuales debido al avance tecnológico vienen con protección intrínseca que permite protegerse a si mismo, se muestra el plano 5.11 con la modificación, se observa que el cableado o los equipos adicionales no brindan posibilidad de falla adicional.

5.2.1.3 Lógicas de los tableros de Mando y Control

Esta concretamente realiza mandos secuenciales de arranque y parada, y ante la presencia de la actuación de una protección ocasiona indefectiblemente un disparo de la unidad, los disparos son señales de digitales, que provienen de instrumentos instalados para tal fin. Al presentarse un disparo estos ejecutan una secuencia de parada de la turbina que va a depender si el disparo es considerado un disparo mecánico o un disparo eléctrico, en el primer de los casos la secuencia se inicia con el cierre de la válvula mariposa, y en el segundo con la apertura del interruptor del grupo, se observa estas en el plano 5.12. Pero en ambos casos estas secuencias son realizadas a través de una lógica cableada, para el caso del disparo eléctrico van a través de los reles biestables -K301, -K302 Y -K303, como se observa en el plano 5.13; y para el disparo mecánico a través de los reles biestables -K304, -K305 Y -K306, como se observa en el plano 5.14. Se propone hacer que los disparos provengan del PLC, es decir que el PLC se encargue de tomar la decisión de ejecutar los mandos sobre los componentes principales para ejecutar el disparo y sus correspondientes secuencias de ejecución de parada. Adicionalmente en el PLC se pueden realizar implementación de lógicas tipo 2 de 3 o 2 de 2, en el cual se tienen 3 o 2 instrumentos y de los cuales deben actuar mínimo 2 para ejecutar un disparo, para esta se pueden usar también las señales análogas que están dentro del sistema SCADA.

También se propone dejar como una reserva adicional la lógica de disparos a través de los reles biestables con el fin de considerar una redundancia por si llegaran a fallar los dos PLC redundantes.

5.2.1.4 Modificación tableros centro de control de motores

Se evalúa el caso de las bombas de agua de refrigeración planos 5.15 y 5.16, el control del arranque de los motores y sistema de conmutación de los mismos, esta basado en un sistema de lógica cableada. Del tablero de mando y control proviene una señal digital, la cual determina la marcha-paro automático de las bombas, la bomba que arranque será la seleccionada como principal, mediante el uso del selector S15. Para el caso del sistema de conmutación, este recibe una señal digital desde campo que según la variable que mida determina la conmutación de las bombas, para el caso del plano 5.15 al tratarse de las bombas de agua de refrigeración estas conmutan por bajo flujo, la secuencia de conmutación se realiza por la lógica cableada que se observa. Al contar con tantos elementos como reles, reles temporizados y cableado se tiene alta probabilidad de falla, para lo cual se propone que esta lógica cableada sea cambiada por una lógica programa y que sea ejecutada por el PLC, así la lógica cableada se vería reducida y con menos probabilidad de fallas, como se observa en los planos 5.17 y 5.18.

5.2.2 Modificación del sistema de lógica programada

La modificación de la lógica consistirá en integrar la lógica cableada dentro de la programación del PLC, para esto se deberá realizar una programación acorde a las secuencias existentes en los tableros de mando y control, y los tableros del centro de control de motores.

5.2.2.1 Lógica programada de tableros de mando y control

Como la lógica cableada del tablero de mando y control va ser reemplazado en la lógica programada se debe considerar todas las acciones y secuencias

que se tiene para la ejecución de los disparos, usando las señales digitales de campo y mejorando estas usando las señales análogas existentes. Para mejorar la confiabilidad en la ejecución de los disparos se propone realizar la programación usando lógicas 2 de 3 ó 2 de 2, que permitirá tener una mayor exactitud en el momento de ejecutar los disparos, usando para esto las señales digitales y señales análogas. Aplicación de esta lógica se llevaría a cabo en el Sistema Oleodinámico que tiene 2 disparos independientes por baja presión, plano 5.11, en este caso se podría mejorar el disparo adicionando una señal análoga de la presión del sistema y luego en la programación del PLC hacer la lógica 2 de 3, usando las dos señales digitales y una señal análoga. En la tabla 5.0 se muestra todos los disparos y en la tabla 5.1 los que podrían ser implementados con lógica 2 de 3 o lógica 2 de 2, vemos que mediante el uso de esta, 23 de las 51 protecciones existentes pueden ser mejoradas con lo cual se eleva la confiabilidad para la ejecución de un disparo.

ITEM	SISTEMA	SUBSISTEMA	DETECTOR (relé o sensor, software, lógica de control)	DESCRIPCIÓN DEL DISPARO
1	ALTERNADOR	EXCITACIÓN	SISTEMA DE EXCITACIÓN	Excitación
2	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	INTERRUPTOR POR RTD	Generador Núcleo Estator - Temp
3	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	INTERRUPTOR POR RTD	Gen - Bob. Estator - fase U - Temp
4	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	INTERRUPTOR POR RTD	Gen - Bob. Estator - fase V - Temp
5	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	INTERRUPTOR POR RTD	Gen - Bob. Estator - fase W - Temp
6	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	TERMOSTATO	Gen - Aire Caliente - Temp
7	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	TERMOSTATO	Gen - Soporte Coj. Guía Sup - Temp
8	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	TERMOSTATO	Gen - Soporte Coj. Empuje - Temp
9	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	TERMOSTATO	Gen - Soporte Coj. Guía inferior - Temp
10	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	PRESOSTATO	Gen - Filtro equipo Aceite - Pres Dif.
11	INSTALACIONES AUXILIARES	AGUA DE DRENAJE	INTERRUPTOR DE NIVEL	Inundación - Disparo
12	MANDO Y CONTROL	MEDIDA Y CONTROL	RELES DE PROTECCIÓN	Sistema de Protección Generador - Disparo
13	MANDO Y CONTROL	MEDIDA Y CONTROL	RELES DE PROTECCIÓN	Sistema de Protección Voltaje - Disparo
14	MANDO Y CONTROL	MEDIDA Y CONTROL	RELES DE PROTECCIÓN	Sistema de Protección Eléctrica del Generador - Disparo
15	MANDO Y CONTROL	MEDIDA Y CONTROL	PLC	Disparo PLC
16	MANDO Y CONTROL	MEDIDA Y CONTROL	PULSADOR	Orden de Parada de Emergencia - Disparo ACU
17	PRESAS Y BOCATOMAS	MEDIDA Y CONTROL	SENSOR DE NIVEL	Cámara de Carga - Nivel de Agua muy Bajo
18	PRESAS Y BOCATOMAS	MEDIDA Y CONTROL	PULSADOR	Cierra Emergencia - Disparo Control Común
19	PROTECCIÓN	CELDA 220KV	RELES DE PROTECCIÓN	Protección Eléctrica del Transformador Principal
20	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	RELE DE TENSIÓN	Transformador Principal Protección Voltaje - Disparo
21	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	EXPLOSOR	Transformador Principal 1 Alivio de Presión Disparo
22	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	RELE BUCHHOLZ	Transformador Principal 1 Buchholz Disparo
23	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	TERMÓMETRO DE ACEITE	Transformador Principal 1 Temperatura de Aceite alto Disparo
24	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	RELE DE IMAGEN TÉRMICA	Transformador Principal 1 Imagen Térmica Disparo
25	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	EXPLOSOR	Transformador Principal 2 Alivio de Presión Disparo
26	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	RELE BUCHHOLZ	Transformador Principal 2 Buchholz Disparo
27	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	TERMÓMETRO DE ACEITE	Transformador Principal 2 Temperatura de Aceite alto Disparo
28	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	RELE DE IMAGEN TÉRMICA	Transformador Principal 2 Imagen Térmica Disparo
29	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	EXPLOSOR	Transformador Principal 3 Alivio de Presión Disparo
30	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	RELE BUCHHOLZ	Transformador Principal 3 Buchholz Disparo
31	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	TERMÓMETRO DE ACEITE	Transformador Principal 3 Temperatura de Aceite alto Disparo
32	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	RELE DE IMAGEN TÉRMICA	Transformador Principal 3 Imagen Térmica Disparo
33	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	TAP	Transformador Principal Disparo Cambiar
34	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	SISTEMA CONTRAINCENDIOS	Transformador Principal 3 Sistema Contraincendios
35	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	RELE DE PROTECCIÓN	Transformador Principal Protección Sistema
36	TURBINA	TURBINA	VIBROCAM 4000	Vibración muy Alto Trip
37	TURBINA	VÁLVULA PRINCIPAL	INTERRUPTOR DE NIVEL	Acumulador de Pistón Nivel muy Bajo
38	TURBINA	VÁLVULA PRINCIPAL	INTERRUPTOR DE NIVEL	Acumulador de Pistón Nivel muy Alto
39	TURBINA	REGULACIÓN DE VELOCIDAD	REGULADOR DE VELOCIDAD HPC 640	Regulador de Turbina
40	TURBINA	REGULACIÓN DE VELOCIDAD	REGULADOR DE VELOCIDAD HPC 640	Regulador de Turbina CPU
41	TURBINA	COJINETE	INTERRUPTOR DE NIVEL	Cojinete Guía de Turbina Nivel de Aceite Bajo
42	TURBINA	VÁLVULA PRINCIPAL	INTERRUPTOR DE NIVEL	Tanque Sumidero Nivel muy Bajo
43	TURBINA	TURBINA	INTERRUPTOR DE PRESIÓN	Acumulador de Pistón Presión Baja 1
44	TURBINA	TURBINA	INTERRUPTOR DE PRESIÓN	Acumulador de Pistón Presión Baja 2
45	TURBINA	TURBINA	INTERRUPTOR DE NIVEL	Tapa Principal Nivel de Agua muy Alto
46	TURBINA	COJINETE	TERMÓMETRO DE DISTANCIA	Cojinete Guía de Turbina Temperatura muy Alta (Metal)
47	TURBINA	TURBINA	TERMÓMETRO DE DISTANCIA	Sello de Eje Temperatura muy Alta
48	TURBINA	REGULACIÓN DE VELOCIDAD	PULSADOR	Turbina Parar de Emergencia Mando
49	TURBINA	TURBINA	INTERRUPTOR DE PRESIÓN	Sello Mantenimiento Activado
50	TURBINA	TURBINA	INTERRUPTOR DE POSICIÓN	Unidad Sobrevelocidad Trip Hidráulico
51	TURBINA	TURBINA	INTERRUPTOR DE POSICIÓN	Unidad Sobrevelocidad Trip Eléctrico

Tabla 5.0 - Listado de disparos central Chimay

ITEM	SISTEMA	SUBSISTEMA	DETECTOR (relé o sensor, software, lógica de control)	DESCRIPCIÓN DEL DISPARO	MODIFICACIÓN	LÓGICA A USAR
1	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	INTERRUPTOR POR RTD	Generador Núcleo Estator - Temp	Quitar el interruptor y usar señal de respaldo	2 DE 2
2	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	INTERRUPTOR POR RTD	Gen - Bob. Estator - fase U - Temp	Quitar el interruptor y usar señal de respaldo	2 DE 2
3	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	INTERRUPTOR POR RTD	Gen - Bob. Estator - fase V - Temp	Quitar el interruptor y usar señal de respaldo	2 DE 2
4	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	INTERRUPTOR POR RTD	Gen - Bob. Estator - fase W - Temp	Quitar el interruptor y usar señal de respaldo	2 DE 2
5	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	TERMOSTATO	Gen - Aire Caliente - Temp	Usar señal de RTD en SCADA	2 DE 2
6	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	TERMOSTATO	Gen - Soporte Coj. Guía Sup - Temp	Usar señal de RTD en SCADA	2 DE 2
7	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	TERMOSTATO	Gen - Soporte Coj. Empuje - Temp	Usar señal de RTD en SCADA	2 DE 2
8	ALTERNADOR	MEDIDA Y CONTROL	TERMOSTATO	Gen - Soporte Coj. Guía inferior - Temp	Usar señal de RTD en SCADA	2 DE 2
9	INSTALACIONES AUXILIARES	AGUA DE DRENAJE	INTERRUPTOR DE NIVEL	Inundación - Disparo	Implementar señal análoga de nivel	2 DE 2
10	PRESAS Y BOCATOMAS	MEDIDA Y CONTROL	SENSOR DE NIVEL	Cámara de Carga - Nivel de Agua muy Bajo	Implementar interruptores de nivel	3 DE 2
11	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	TERMÓMETRO DE ACEITE	Transformador Principal 1 Temperatura de Aceite alto Disparo	Usar señal de RTD en SCADA	2 DE 2
12	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	TERMÓMETRO DE ACEITE	Transformador Principal 2 Temperatura de Aceite alto Disparo	Usar señal de RTD en SCADA	2 DE 2
13	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	TERMÓMETRO DE ACEITE	Transformador Principal 3 Temperatura de Aceite alto Disparo	Usar señal de RTD en SCADA	2 DE 2
14	TRANSFORMACIÓN	TRANSFORMADOR 13.8/220 KV	RELE DE IMAGEN TÉRMICA	Transformador Principal 3 Imagen Térmica Disparo	Usar señal de RTD en SCADA	2 DE 2
15	TURBINA	VÁLVULA PRINCIPAL	INTERRUPTOR DE NIVEL	Acumulador de Pistón Nivel muy Bajo	Implementar señal análoga de nivel	2 DE 2
16	TURBINA	VÁLVULA PRINCIPAL	INTERRUPTOR DE NIVEL	Acumulador de Pistón Nivel muy Alto	Implementar señal análoga de nivel	2 DE 2
17	TURBINA	COJINETE	INTERRUPTOR DE NIVEL	Cojinete Guía de Turbina Nivel de Aceite Bajo	Implementar interruptor de nivel adicional	2 DE 2
18	TURBINA	VÁLVULA PRINCIPAL	INTERRUPTOR DE NIVEL	Tanque Sumidero Nivel muy Bajo	Implementar interruptor de nivel adicional	2 DE 2
19	TURBINA	TURBINA	INTERRUPTOR DE PRESIÓN	Acumulador de Pistón Presión Baja 1	Implementar señal análoga de Presión	3 DE 2
20	TURBINA	TURBINA	INTERRUPTOR DE PRESIÓN	Acumulador de Pistón Presión Baja 2		
21	TURBINA	TURBINA	INTERRUPTOR DE NIVEL	Tapa Principal Nivel de Agua muy Alto	Implementar señal análoga de nivel	2 DE 2
22	TURBINA	COJINETE	TERMÓMETRO DE DISTANCIA	Cojinete Guía de Turbina Temperatura muy Alta (Metal)	Usar señal de RTD en SCADA	2 DE 2
23	TURBINA	TURBINA	TERMÓMETRO DE DISTANCIA	Sello de Eje Temperatura muy Alta	Usar señal de RTD en SCADA	2 DE 2

Tabla 5.1 - Listado de disparos que pueden ser implementados con lógica 2 de 3 o lógica 2 DE 2

5.2.2.2 Lógica tableros centro de control de motores

Al ser encargada del arranque, parada y conmutación de los todos los motores, la programación deberá considerar las mismas condiciones para realizar estas tareas, en el caso de las señales digitales y/o análogas necesarias para la ejecución de estas secuencias, deberán seguir siendo usadas por el nuevo sistema, en el caso alguna no este implementada, deberá ser considerada como señal nueva hacia el nuevo sistema. La opción de operación de las bombas en manual podrá realizarse desde los tableros de mando y desde el SCADA, la selección de la bomba principal solo se realizara desde el SCADA.

5.2.2.3 Lógica de arranque y parada de las turbinas

La lógica que conforma las secuencias de arranque y parada de la turbina seguirán conservándose dentro de la programación del nuevo PLC. Considerando las mismas características y condiciones que se tenían para la ejecución de dichas secuencias.

5.2.3 **Modificación del Sistema de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA)**

La modificación del sistema consistirá en variar la forma en como se adquieren los datos desde los principales tableros de campo y como serán tratados por el nuevo PLC. Actualmente todos estos llegan mediante cableado hacia los tableros del sistema de mando y control donde se distribuyen hacia la lógica cableada y a los PLC, y también hacia los tableros del centro de control de motores.

5.2.3.1 Procesadores de Campo

Con el fin de disminuir al mínimo el cableado se realizará una nueva configuración del sistema, en el cual se instalaran procesadores de campo, los cuales recolectaran las señales digitales y analógicas de los instrumentos

de campo como también enviaran señales digitales y analógicas hacia los elementos de control final. Se decide por este tipo de configuración debido a que los instrumentos instalados actualmente no tienen capacidad de comunicación del tipo Profibus o Hart y solamente cuentan con señales estándares de comunicación (4-20mA, RTD, digital). Estos procesadores de campo se instalaran en cada uno de los tableros los cuales estén directamente relacionadas con la modificación de la lógica cableada, en la tabla 5.2 se muestra la distribución de los procesadores de campo en toda la central y en la tabla 5.3 se muestra la distribución y cantidades de las señales digitales y análogas según los tableros.

DESCRIPCIÓN DEL TABLERO	UCPG1	UCPG2	UCPS	UCPT
TABLERO DE MANDO Y CONTROL				
CENTRO CONTROL DE MOTORES				
TABLERO DE TURBINA Y VÁLVULA MARIPOSA				
TABLERO SUBESTACIÓN 220kV				
TABLERO DEL GENERADOR				

Tabla 5.2 – Distribución de procesadores de campo

Todos los procesadores de campo estarán comunicados a través de buses de campo los cuales estarán divididos según los sistemas principales que controlen: UCPG1, UPG2, UCPS Y UCPT.

5.2.3.2 Bus de Campo

Encargado de la comunicación de los procesadores de campo con cada PLC, esta se basara en una red Profibus. Los procesadores de campo se instalaran con dos canales redundantes los cuales finalmente se comunicaran con el PLC principal y secundario en la sala de control. El medio físico para la comunicación será un cable de comunicación profibus industrial, debido a que las distancias de instalación no superan los 100m.

DESCRIPCIÓN DEL TABLERO	UCPG1				UCPG2				UCPS				UCPT			
	DI	DO	AI	AO	DI	DO	AI	AO	DI	DO	AI	AO	DI	DO	AI	AO
TABLERO DE MANDO Y CONTROL	70	15	9	1	70	15	9	1	143	18	54	0	65	2	19	0
CENTRO CONTROL DE MOTORES	40	11	0	0	40	11	0	0	13	10	0	0	19	23	0	0
TABLERO DEL GENERADOR	41	3	37	0	41	3	37	0	N.A.				N.A.			
TABLERO DE TURBINA Y VÁLVULA MARIPOSA	60	13	12	0	60	13	12	0	N.A.				N.A.			
TABLERO SUBESTACIÓN 220kV	N.A.				N.A.				16	10	0	0	N.A.			

Tabla 5.3 - Distribución de señales digitales y análogas en procesadores de campo

5.2.3.3 PLC Principal

Con respecto al PLC, al requerir un funcionamiento continuo sin interrupciones ante una falla de este, se realizara la instalación de dos PLC que contarán con el mismo programa y funcionaran de manera redundante con el bus de campo. Se instalarán estos PLC para cada grupo (UCPG1 y UCPG2), para el Sistema de Subestación de 220kV (UCPS) y para el Sistema de Bocatoma (UCPT). Las cuales tendrán comunicación entre si, para poder establecer condiciones optimas de funcionamiento o poder ejecutar una secuencia de parada ante la presencia de una falla.

5.2.3.4 Sistema de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA)

Se usaran tres PC que estarán conectadas a un bus a nivel administrativo, basado en una red Ethernet y conectados a través de fibra óptica, que recogerá los datos desde los PLC, los almacenara para luego ser usados en análisis de funcionamiento de los equipos principales de la central. También servirá para realizar secuencias de arranque y parada de los grupos, comandos importantes sobre los sistemas principales de la turbina y sobre los equipos de esta. Dos de las PC estarán ubicadas en sala de mando y una de ellas será una estación remota.

En la figura 5.0, se puede observar la nueva distribución del Sistema de Mando y Control.

5.3 EVALUACIÓN DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL

Según lo definido en el capítulo 3, realizaremos un análisis para el nuevo sistema de control definido.

5.3.1 Identificación de características principales

Para cada una de las características realizaremos una evaluación según las fallas presentadas.

5.3.1.1 Confiabilidad

Con la implementación del nuevo sistema, la probabilidad de que ocurran fallas iguales o parecidas a las presentadas durante el periodo de análisis será menor o prácticamente cero.

5.3.1.2 Disponibilidad

Al aumentar la confiabilidad del sistema veremos un aumento considerable dentro de lo que significa la disponibilidad, debido a que se contara con un sistema conformado de equipos y características necesarias para un funcionamiento continuo, aun ante la falla del mismo equipamiento debido a que se cuenta con sistemas redundantes.

5.3.1.3 Mantenibilidad

Con la conformación del nuevo sistema se ha disminuido considerablemente el equipamiento, y se cuenta con equipos que tienen la capacidad de autodiagnóstico, lo cual agiliza las tareas de mantenimiento y reduce o elimina tareas existentes que no se aplican dentro de la nueva conformación del sistema.

5.3.1.4 Interoperabilidad

El sistema es completamente compatible con cualquier equipamiento que se requiera instalar y puede operar conjuntamente sin problemas y su adecuación al sistema es sencillo.

5.3.1.5 Flexibilidad

El sistema es flexible, se puede realizar modificaciones que sean necesarias para mejorar el funcionamiento de esta, sin necesidad de realizar paradas de planta, debido a que estas se pueden hacer en línea.

5.3.1.6 Integración

Cualquier equipo se puede adaptar fácilmente al nuevo sistema, debido a que es de protocolo abierto y trabaja con señales estándares.

5.3.1.7 Seguridad

El sistema operara siempre dentro de sus parámetros normales de funcionamiento.

5.3.1.8 Detección de fallas

El seguimiento de las fallas resulta ser mas fácil y dinámico, debido a que se puede acceder al programa y se pueden observar los parámetros en línea.

5.3.2 Identificación de características secundarias

Se desarrolla a continuación cada una de ellas:

5.3.2.1 Instalación

Los equipos se pueden organizar de una manera sencilla, cualquier conexionado adicional es fácilmente implementable y no requiere de mucho trabajo adicional.

5.3.2.2 Programación

La modificación del programa dentro del PLC es de fácil acceso y se puede realizar de una manera sencilla y dinámica.

5.3.2.3 Consumo de energía

El consumo por parte del nuevo sistema será bajo debido a que sus no requieren de mucha potencia para realizar sus funciones.

5.3.2.4 Volumen

El espacio ocupado será pequeño, debido a que los equipos son modulares y no se requiere de mucho espacio para instalarlos.

5.3.2.5 Costo

Los costos son relativamente elevados, debido a que la cantidad de equipos a usar es alta y por sus características de funcionamiento.

5.3.3 Ponderación de características

En base a la evaluación realizada en los puntos anteriores podemos realizar una ponderación de las características y poder estimar un peso para el nuevo sistema a implementar. Se presenta la tabla 5.4 y 5.5.

Características Principales	Ponderación
Confiabilidad	2
Disponibilidad	2
Mantenibilidad	2
Interoperabilidad	2
Flexibilidad	2
Integración	2
Seguridad	2
Detección de fallas	2
TOTAL	16

Tabla 5.4 – Evaluación características Principales

Características Secundarias	Ponderación
Instalación	2
Programación	2
Consumo de energía	1
Volumen	2
Costo	1
TOTAL	8

Tabla 5.5 – Evaluación características secundarias

5.3.4 Evaluación final del Sistema

Si realizamos una sumatoria aritmética podríamos decir que tenemos una ponderación de 16 para las características principales y de 8 para las características secundarias, según esto podríamos afirmar que la instalación del nuevo Sistema de Mando y Control cubre con las condiciones para sistemas de funcionamiento continuo y también que sobrepasa a los resultados obtenidos para el sistema de Mando y Control actual de la central.

5.4 EVALUACIÓN DE LA OPERATIVIDAD DE LA CENTRAL

Para realizar esta evaluación, nuevamente nos basamos en el concepto de factor disponibilidad de la central. Para evaluar una mejora de este factor, vamos a asumir que las fallas presentadas durante el periodo de análisis no van a ocurrir nuevamente, con lo cual decimos que no se perderán las mismas horas de fallas. Según esto podemos presentar la tabla 5.6, donde se presenta el mismo periodo de análisis 2003-2005, pero sin considerar las horas debido a las fallas del sistema de control y se obtiene de ahí las nuevas disponibilidades. En la tabla 5.7 se muestra la comparación de las disponibilidades en los periodos analizados pero con sistemas de control distinto, se observa que se ha obtenido una mejora promedio del 0.12%, lo cual es significativo para este tipo de instalaciones debido que a pesar de ser un porcentaje bajo influye fuertemente en la rentabilidad económica.

CENTRAL / MW	AÑO	DISP SIST CONTROL NUEVO %	DISP SIST CONTROL ACTUAL %
CHIMAY 150.9 MW	2003	94.52%	94.41%
	2004	95.66%	95.53%
	2005	97.47%	97.36%

Tabla 5.7 – Cálculo disponibilidad periodo 2003 - 2005

CENTRAL / MW	AÑO	GRUPO/MW	HORAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	DISP %	DISP CENTRAL %
CHIMAY 150.9 MW	2003		Desconex. Forzada	0.00	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.43	0.00	0.00	0.00	0.00	6.82	94.48%	94.52%
		G-1	Desconex, Program.	2.82	17.80	4.80	191.77	193.37	0.00	4.97	19.45	0.00	10.07	0.00	31.37	476.40		
		75.5	Disponibles	741.18	652.82	739.20	528.23	550.63	720.00	739.03	719.12	720.00	733.93	720.00	712.63	8276.78		
			Desconex. Forzada	0.00	1.23	1.53	0.00	0.47	0.00	0.00	5.43	0.00	0.00	0.00	0.00	8.67		
		G-2	Desconex, Program.	4.68	17.80	5.62	223.62	184.78	0.00	0.00	11.25	0.00	10.53	0.00	10.32	468.60		
	75.4	Disponibles	739.32	652.97	736.85	496.38	558.75	720.00	744.00	727.32	720.00	733.47	720.00	733.68	8282.73	94.55%		
	2004		Desconex. Forzada	0.00	4.37	0.00	5.78	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	10.42	96.44%	95.66%
		G-1	Desconex, Program.	0.00	8.00	12.48	10.10	0.00	221.57	12.10	0.00	0.00	18.32	18.47	0.00	301.03		
		75.5	Disponibles	744.00	659.63	731.52	704.12	744.00	498.43	731.90	743.73	720.00	725.68	701.53	744.00	8448.55		
			Desconex. Forzada	0.00	0.00	0.00	23.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00	24.18		
		G-2	Desconex, Program.	9.90	7.53	12.48	129.80	187.03	32.72	12.10	0.00	0.00	13.67	19.53	0.00	424.77		
	75.4	Disponibles	734.10	664.47	731.52	566.70	556.97	687.28	731.90	744.00	720.00	729.65	700.47	744.00	8311.05	94.88%		
	2005		Desconex. Forzada	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	97.50%	97.47%
		G-1	Desconex, Program.	9.92	9.80	9.00	106.48	9.15	7.00	40.65	0.00	7.00	11.98	8.25	0.00	219.23		
		75.5	Disponibles	734.08	662.20	735.00	613.52	734.85	713.00	703.35	744.00	713.00	732.02	711.75	744.00	8540.77		
		Desconex. Forzada	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.48	0.00	10.83			
G-2		Desconex, Program.	9.78	9.42	9.00	106.70	3.15	7.23	40.62	0.00	7.00	11.80	8.25	0.00	212.95			
75.4	Disponibles	734.22	662.58	734.65	613.30	740.85	712.77	703.38	744.00	713.00	732.20	701.27	744.00	8536.22	97.45%			

HORAS MENSUALES													
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760	

Tabla 5.6 - Cálculo de disponibilidad periosos 2003, 2004 Y 2005

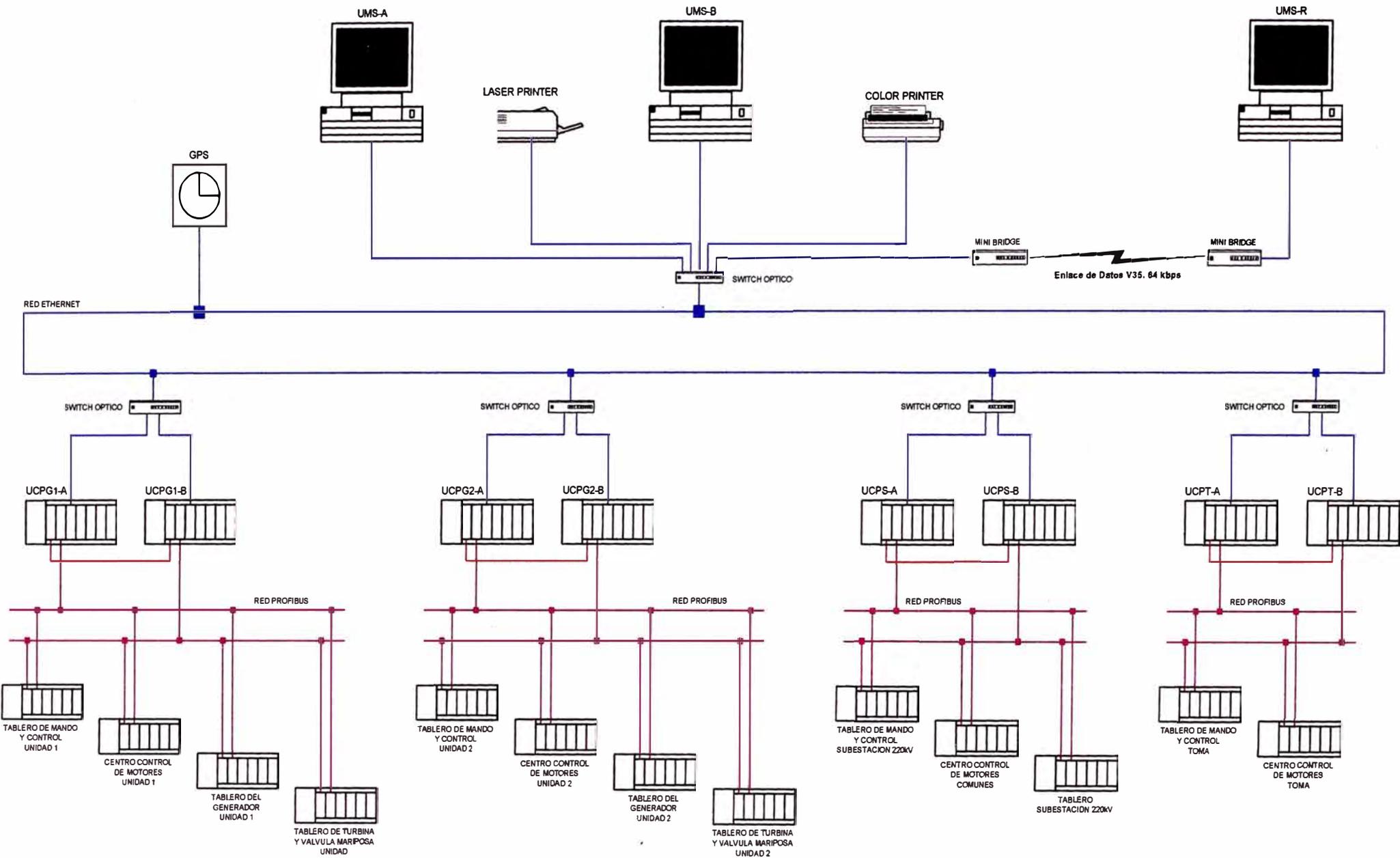


Figura 5.0 - Nueva distribución del sistema de Mando y Control

CAPÍTULO 6

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL REDISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

6.1 CÁLCULO DE LA INVERSIÓN

Para realizar el cálculo de la inversión de la modificación del sistema de mando y control actual, realizaremos una estimación del equipamiento necesario; instalación, programación y licencias del nuevo sistema de acuerdo a las características y equipamiento, después de lo cual realizaremos un costeo de cada requerimiento.

6.1.1 Estimación del equipamiento requerido para implementación del nuevo sistema de mando y control

Para realizar la estimación del equipamiento a usar, primero vamos a definir las características principales de cada uno de los equipos, luego en base al nuevo sistema y las señales que la conforman se estimaran la cantidad de equipos necesarios. La descripción de las características para los componentes principales del nuevo sistema se describe en la tabla 6.0, todas estas se basan en equipos de marca Siemens, debido a la alta confiabilidad de sus equipos. Según las tablas 5.2 y 5.3, donde se tiene la distribución de los procesadores de campo y también un mapeo de todas las señales digitales y análogas existentes en la central, y según la nueva distribución del sistema de mando y control, se puede realizar una estimación de la cantidad de equipos necesarios para la instalación (tabla 6.1) y en base a precios promedios del mercado se puede estimar los costos que se tendrían por el equipamiento (tabla 6.2)

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
SCADA	GPS	Marca: Siemens Modelo: SICLOKS TS Código: E10433-E0308-H100 2XV9450-1AR52 Características: Anexo 1
	SWITCH ÓPTICO INDUSTRIAL	Marca: Siemens Modelo: Industrial Ethernet OSM TP62 Código: 6GK1105-2AB10 Características: Anexo 1
	CABLE CONEXIÓN ETHERNET	Marca: Siemens Modelo: FLEXIBLE FIBER-OPTIC CABLE Código: 6XV1 820-6BN20 Características: Anexo 1
PLC	CPU	Marca: Siemens Modelo: CPU 315-2 DP Código: 6ES7 315-2AG10-0AB0 Características: Anexo 1
	FUENTE	Marca: Siemens Modelo: SITOP Power 10 Código: 6EP1 334-1SH01 Características: Anexo 1
	MODULO ETHERNET	Marca: Siemens Modelo: CP 343-1 Código: 6GK7 343-1EX11-0XE0 Características: Anexo 1
PROCESADOR DE CAMPO	FUENTE	Marca: Siemens Modelo: SITOP Power 10 Código: 6EP1 334-1SH01 Características: Anexo 1
	MODULO PROFIBUS	Marca: Siemens Modelo: ET200M Código: 6ES7 153-2AA0 2-0XB0 Características: Anexo 1
	CABLE CONEXIÓN PROFIBUS	Marca: Siemens Modelo: PROFIBUS Cable for ET 200X Código: 6ES7 194-1LY00-0AA0-100 Características: Anexo 1
	MODULO ENTRADA DIGITAL	Marca: Siemens Modelo: SM321 Código: 6ES7 321-1BH02-0AA0 Características: Anexo 1
	MODULO SALIDA DIGITAL	Marca: Siemens Modelo: SM322 Código: 6ES7 322-1BH01-0AA0 Características: Anexo 1
	MODULO ENTRADA ANÁLOGA	Marca: Siemens Modelo: SM331 Código: 6ES7 331-7KF02-0AB0 Características: Anexo 1
	MODULO SALIDA ANÁLOGA	Marca: Siemens Modelo: SM332 Código: 6ES7 332-5HF00-0AB0 Características: Anexo 1

Tabla 6.0 – Características equipos necesarios para nuevo sistema de control

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	UCPG1	UCPG2	UCPS	UCPT	TOTAL
SCADA	SICLOCKS TS			1		1
	SWITCH ÓPTICO			5		5
TABLERO DE MANDO Y CONTROL	CPU 315-2DP	2	2	2	2	8
	SITOP POWER 10	2	2	2	2	8
	CP 343-1	1	1	1	1	4
	ET 200M	4	4	6	4	18
	SM321	6	6	10	5	27
	SM322	2	2	2	1	7
	SM331	4	4	14	5	27
	SM332	1	1	0	0	2
CENTRO CONTROL DE MOTORES	FUENTE	2	2	2	2	8
	ET 200M	2	2	2	2	8
	SM321	4	4	1	2	11
	SM322	2	2	2	2	8
	SM331	1	1	1	0	3
TABLERO DEL GENERADOR	FUENTE	2	2	0	0	4
	ET 200M	4	4	0	0	8
	SM321	3	3	0	0	6
	SM322	1	1	0	0	2
	SM331	10	10	0	0	20
TABLERO DE TURBINA Y VÁLVULA MARIPOSA	FUENTE	2	2	0	0	4
	ET 200M	4	4	0	0	8
	SM321	5	5	0	0	10
	SM322	2	2	0	0	4
	SM331	5	5	0	0	10
TABLERO SUBESTACIÓN 220kV	FUENTE	0	0	2	0	2
	ET 200M	0	0	2	0	2
	SM321	0	0	2	0	2
	SM322	0	0	2	0	2

Tabla 6.1 – Cantidad de equipos necesarios por tablero

REQUERIMIENTO	CANT	UNIDAD	COSTO \$	TOTAL\$
SICLOCKS TS	1	UN	700.00	700.00
SWITCH ÓPTICO OSM TP62	5	UN	1500.00	7500.00
FLEXIBLE FIBER-OPTIC CABLE	20	m	3.00	60.00
SITOP POWER 10	26	UN	750.00	19500.00
CPU 315-2DP	8	UN	850.00	6800.00
CP 343-1	8	UN	692.00	5536.00
ET 200M	44	UN	593.00	26092.00
PROFIBUS Cable for ET 200X	300	m	4.00	1200.00
SM321	56	UN	478.00	26768.00
SM322	23	UN	332.00	7636.00
SM331	60	UN	620.00	37200.00
SM332	2	UN	765.00	1530.00
INVERSIÓN USD\$				140522.00

Tabla 6.2 – Estimación de costos de equipamiento por tablero

6.1.2 Estimación del servicio de Instalación, programación y licencias de software

Este consistirá de un servicio de instalación, considerara el montaje de todo el equipamiento, modificación de las conexiones en la lógica cableada. La programación consistirá en la configuración y diseño de los programas de los PLC de las unidades, subestación y bocatoma, la programación de los PLC deberá tomar en cuenta las funciones y secuencias que se tenían en la lógica cableada considerando cada detalle de estas; este servicio considerara también la configuración y diseño del nuevo sistema SCADA, este deberá contar con sus respectivas licencias de funcionamiento. A continuación se muestran estos servicios en la tabla 6.3.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Servicio de Instalación	1
Servicio de Programación	1
Licencias	1

Tabla 6.3 – Programación y licencias

Con estos requerimientos podemos realizar una estimación de los costos por los servicios mencionados anteriormente (tabla 6.4)

REQUERIMIENTO	CANT	UNIDAD	COSTO \$	TOTAL \$
Servicio de Instalación	1	UN	100000.00	100000.00
Servicio de Programación	1	UN	10000.00	10000.00
Licencias	1	UN	5000.00	5000.00
INVERSION USD\$				115000.00

Tabla 6.4 – Costos de servicios de instalación, programación y licencias

6.2 CÁLCULO DEL BENEFICIO TOTAL

Para estimar el beneficio anual que se obtiene con la modificación del Sistema de Mando y Control, asumiremos que será la suma algebraica de los costos de las fallas

ocurridas año a año durante el periodo de análisis debidas solamente a la pérdida de producción, y en base a una proyección de estas, basándonos en el criterio de la media móvil, promedio de los tres últimos años para estimar el beneficio del año siguiente, se estimara el beneficio que se obtendría durante los siguientes años de funcionamiento del sistema, considerando un periodo de vida útil de 5 años. Este cálculo se muestra en la tabla 6.5

AÑO	BENEFICIO USD(\$)
2003	33808.88
2004	138111.33
2005	113212.17
2006	95044.12
2007	115455.87
2008	107904.05
2009	106134.68
2010	109831.54

Tabla 6.5 – Estimación del beneficio

6.3 INDICADORES ECONÓMICOS

Estos nos mostraran si la inversión que se desea realizar esta dentro de lo que se espera obtener, dentro de un periodo de vida útil de 5 años, que es el periodo que se considera como cambio tecnológico. Realizaremos el cálculo de los indicadores VAN, TIR.

6.3.1 Cálculo del VAN

Es el valor actual de todos los flujos de caja esperados en un proyecto de inversión. Se calcula como la diferencia entre el Valor actual de los costos de inversión y de los beneficios obtenidos, a una tasa de descuento y durante el periodo de análisis considerado, para este proyecto consideraremos la tasa de descuento del 12% y un periodo de 5 años el cual se considera como de cambio tecnológico de equipamiento. En base a las tablas 6.2 y 6.4 estimamos los flujos de caja y los valores actuales, considerando que se

tendrá una inversión inicial en el primer año. Presentamos la tabla 6.6 con el cálculo correspondiente.

AÑO	BENEFICIO \$	COSTO \$	FLUJO \$	V. PRESENTE FUJOS \$
2006	95044.12	255522.00	-160477.88	-160477.88
2007	115455.87	0.00	115455.87	103085.60
2008	107904.05	0.00	107904.05	96342.91
2009	106134.68	0.00	106134.68	94763.11
2010	109831.54	0.00	109831.54	98063.87

Tabla 6.6 – Flujos de caja del proyecto

Del cual podemos calcular el valor actual neto del proyecto:

$$VAN = \sum V \text{ Presente de los Flujos}$$

$$VAN = \$ 231,747.61$$

6.3.2 Cálculo del TIR

Es la tasa de interés a la cual el valor presente de los flujos de caja se hace igual a cero.

De la tabla 6.5 tenemos que:

$$TIR = 49\%$$

CONCLUSIONES

1. Luego de la evaluación realizada al sistema de control con el método de Pareto, se demuestra que no es adecuado acorde a los requerimientos de confiabilidad y disponibilidad establecidos para una planta de generación eléctrica, basándonos también en las características principales y secundarias definidas en el presente informe para los sistemas de control. Con el rediseño se logra mejorar la confiabilidad operativa de la central, se tiene un incremento promedio del 0.12% en su índice de disponibilidad, indicador principal para una central de generación.
2. El incremento del 0.12% en el índice de disponibilidad de la central, a pesar de ser un valor pequeño es representativo, debido a que representa un volumen de producción alto, la cual es muy representativa en los márgenes económicos porque representa un margen de ganancia alto, el cual en promedio representaría unos \$150000.00 dólares americanos.
3. La gestión del mantenimiento es adecuada, se cuenta con un programa de mantenimiento preventivo anual, el cual es programado semanalmente conjuntamente con las tareas de mantenimiento correctivo, se lleva un control completo de las fallas y acontecimientos ocurridos, lo que permite realizar siempre un análisis de estas y así poder tomar decisiones al momento de proyectar mejoras para los diferentes sistemas.
4. Al evaluar los costos por pérdida de producción debido a las fallas del sistema de control, se puede apreciar que estos fluctúan en el orden de los \$100000.00 dólares

americanos anuales, los cuales son costos altos y representativos para una instalación de este tipo.

5. Con el rediseño se logra conformar un nuevo sistema, conformado de equipos de última generación los cuales brindan una confiabilidad en su funcionamiento y en su mantenimiento. Se logrará eliminar una cantidad de equipos, los cuales representan un riesgo o probabilidad de falla durante el funcionamiento del sistema y al formar parte de un circuito ocasionaba pérdida de tiempo en el análisis de las fallas o para la ubicación de un componente fallado. Se mejora notablemente la capacidad de expansión y modificación del sistema la cual ayudara en futuros proyectos de expansión de la central.
6. Al realizar las estimaciones para el costo de la inversión inicial para la ejecución del proyecto se estima aproximadamente en \$250000.00 dólares americanos, pero al realizar el calculo de los indicadores económicos se obtiene un VAN de \$231747.61 dólares americanos y un TIR del 49%, los cuales son valores muy altos y representativos, los cuales determinan que el proyecto es viable y con un índice de recuperación muy alto.
7. Debido a los indicadores económicos positivos presentados durante la evaluación, se recomienda realizar un rediseño del sistema de control y alcanzar así un óptimo funcionamiento de la central hidroeléctrica, lo cual permitirá tener una producción continua y con las nuevas herramientas obtenidas un mejor análisis del funcionamiento de esta.
8. Se recomienda hacer extensivo la presente evaluación para todas las centrales hidráulicas de la empresa y que presenten problemas similares, con el fin de optimizar su funcionamiento.

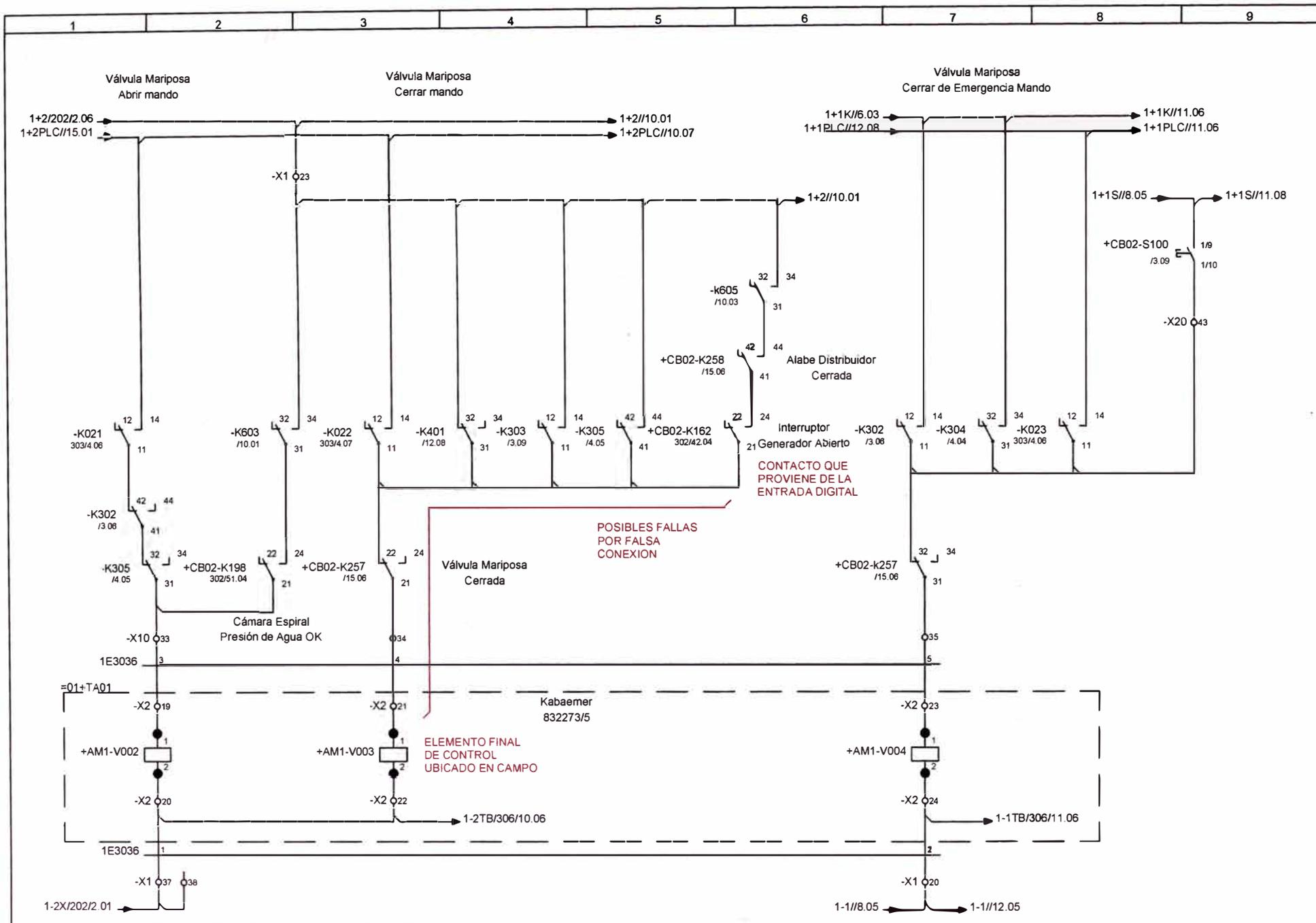
BIBLIOGRAFÍA

- **Instrumentación Industrial**
Autor: Antonio Creus
Año 1997 – 6ta edición
- **Electrónica de Potencia**
Autor: Muhammad Rashid
Año 1995 – 2da edición
- **Electrónica Industrial Moderna**
Autor: Timothy J. Maloney
Año 1997 – 3ra edición
- **Ingeniería de Control**
Autor: Katsuhiko Ogata
Año 1998 – 3ra edición
- **Sensores y Medidores Industriales**
Programa de capacitación continua – TECSUP
- **Controladores de Procesos Industriales**
Programa de capacitación continua – TECSUP
- **Fundamentos de Control Automático**
Programa de capacitación continua – TECSUP
- **Control Automático de Procesos**
Programa de capacitación continua – TECSUP
- **Control Industrial con PLC**
Programa de capacitación continua – TECSUP
- **Supervisión y Control de Procesos por Computadora**
Programa de capacitación continua – TECSUP
- **Redes con PLC**
Programa de capacitación continua – TECSUP
- **Interfaces y Protocolos de Comunicación**
Programa de capacitación continua – TECSUP
- **Sistemas de Control con PLC**
Programa de capacitación continua – TECSUP

- **Calibración de Instrumentos Industriales**
Programa de capacitación continua – TECSUP
- **Brochures y revistas Siemens**
<http://www.siemens.com>
- **Revista Electro Industria**
http://www.emb.cl/electroindustria/articulo_mv?xid=32&rank=1
- **Artículo “Menos cables mas automatización”**
<http://www.manufacturaweb.com>
- **Diccionario Web Wikipedia**
<http://es.wikipedia.org/>
- **Artículo de Automatización y control**
http://www.ing.uc.edu.ve/~emescobar/automat_l/contenido_menu/Unidad_l/Contenido/pagina1/pagina1.htm

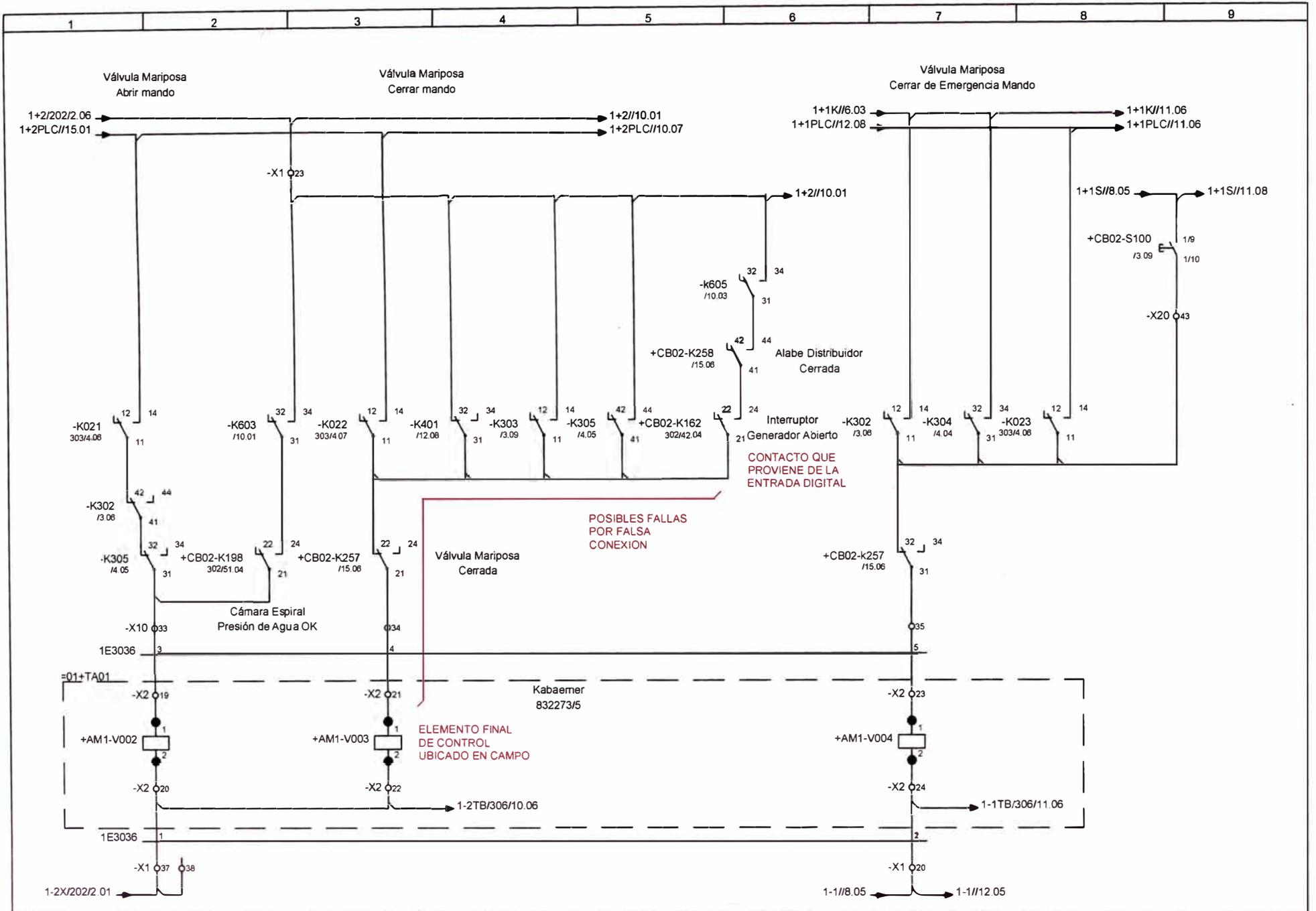
PLANOS

PLANO 5.1



			PREPAR	24.05.99	PONW	CLIENTE	EDEGEL			=01	306/				
			COMP			PROYECTO	CHIMAY			+CB03					
C	17.11.00	FREILER	APROB		AK-DH	PEDIDO	C19177011								
NO PLANOS RELACIONALES	FECHA	NOMBRE	ESCALA		1,000	ARCHIVO	17.11.00								
								DIAGRAMA ESQUEMATICO CONTROL DE UNIDAD VALVULA MARIPOSA		CM98.3311F.306	<table border="1"> <tr> <td>HOJA</td> <td>9/</td> </tr> <tr> <td>DE</td> <td>18/</td> </tr> </table>	HOJA	9/	DE	18/
HOJA	9/														
DE	18/														
A3															

PLANO 5.1

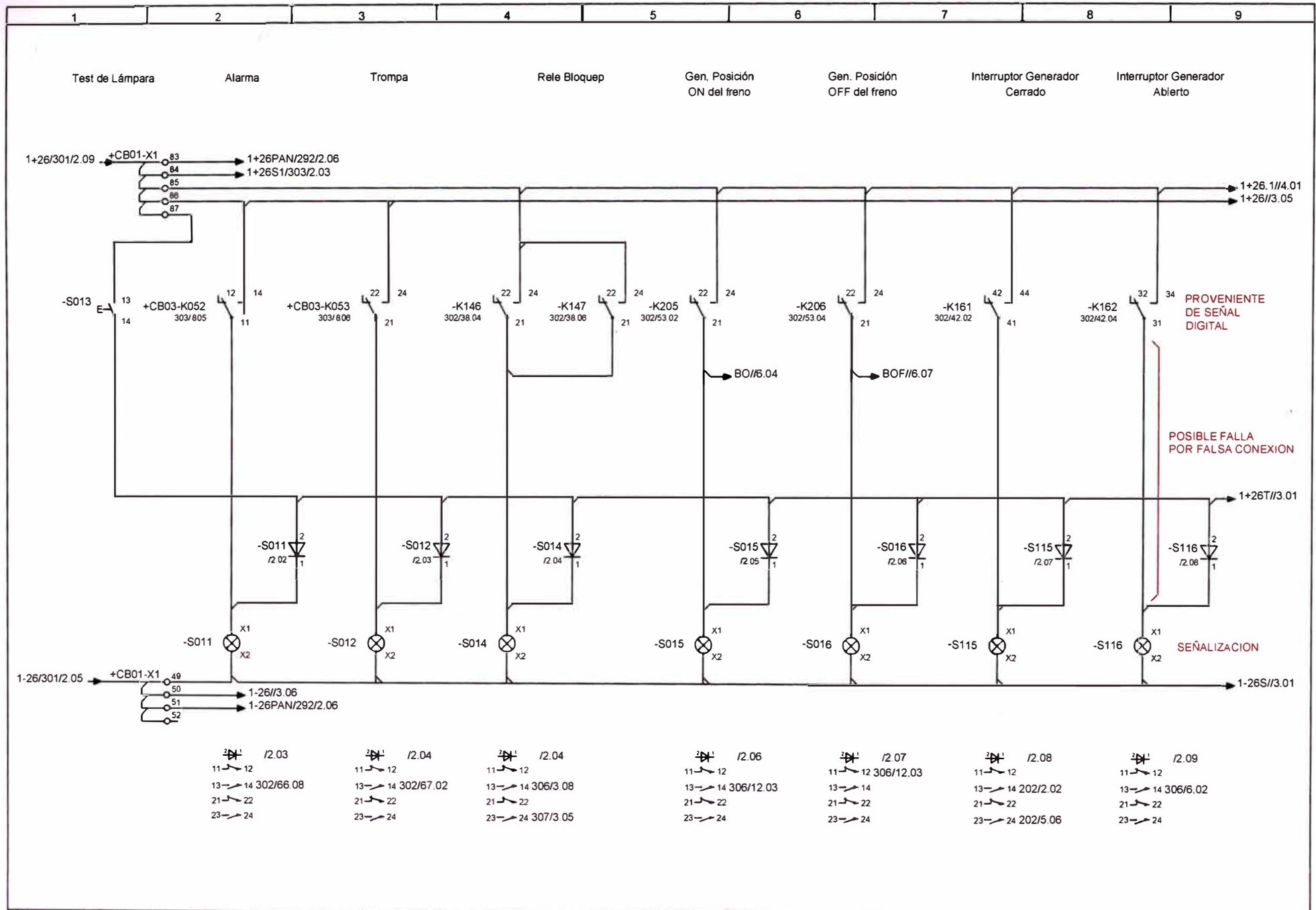


			PREPAR	24.05.99	PONW	CLIENTE	EDEGEL		=01	306/
			COMP			PROYECTO	CHIMAY		+CB03	
C	17.11.00	FREILER	APROB		AK-DH	PEDIDO	C19177011			
Nº PLANOS RELACIONALES	FECHA	NOMBRE	ESCALA		1.000	ARCHIVO	17.11.00		CM98.3311F.306	HOJA 9 / 18 A3

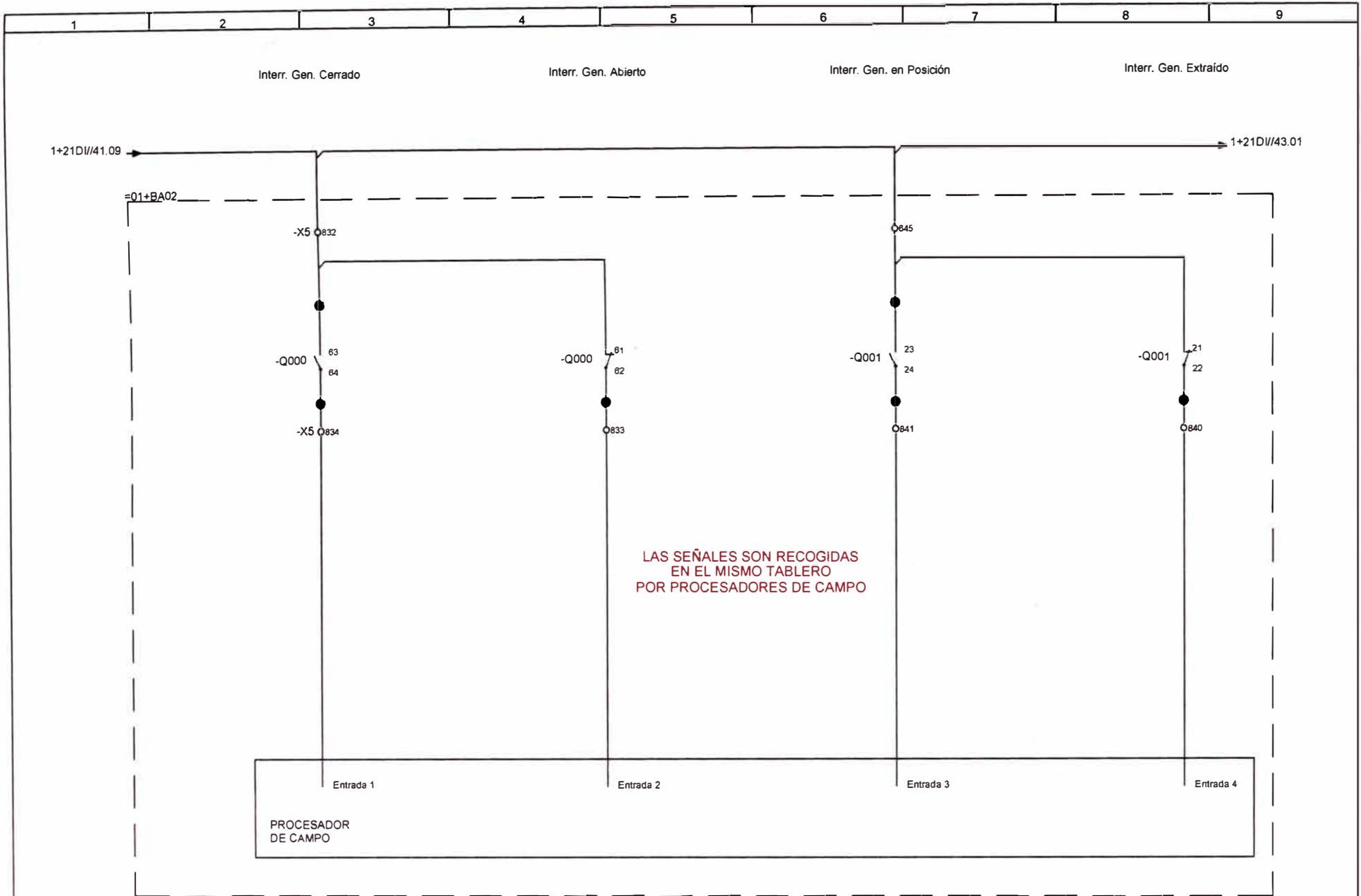


DIAGRAMA ESQUEMATICO
CONTROL DE UNIDAD
VALVULA MARIPOSA

PLANO 5.2



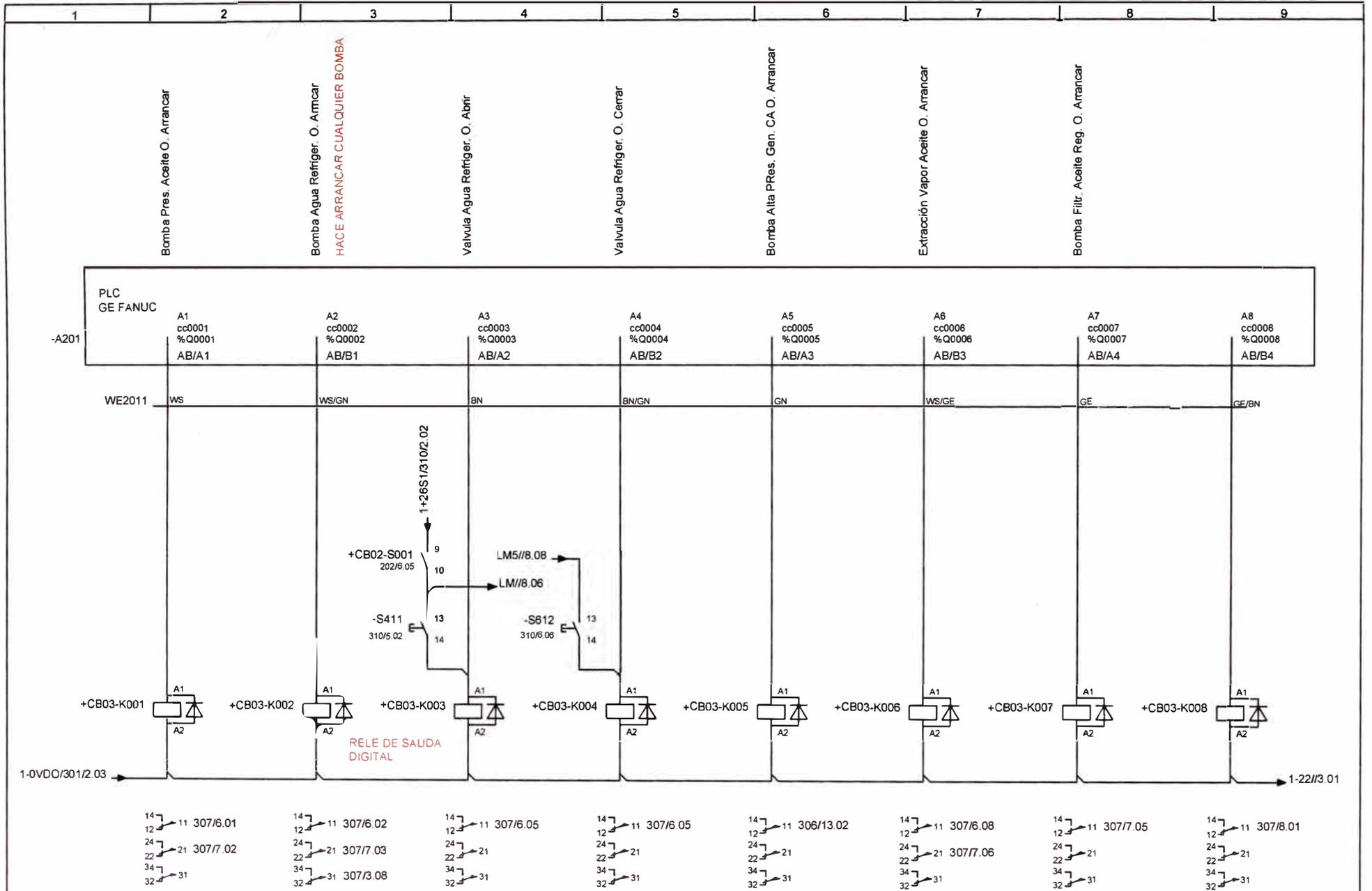
		PREPAR	24.03.99	PONW	CLIENTE EDEGEL		DIAGRAMA ESQUEMATICO CONTROL DE UNIDAD INDICACION	=01 310/	
		COMP			PROYECTO CHIMAY			+CB02	
B	04.02.00	SCHANER	APROB	AK-DH	PEDIDO C19177011			HOJA 2	A3
NO PLANOS RELACIONALES	FECHA	NOMBRE	ESCALA	1,000	ARCHIVO 14.02.00		CM98.3311F.310	DE 7	



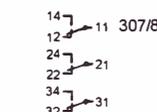
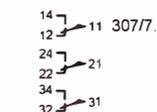
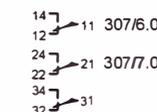
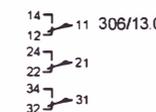
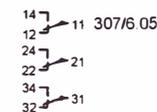
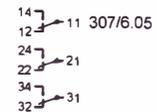
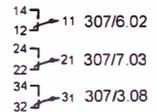
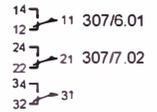
			PREPAR	17 06 99	SCHANER	CLIENTE	EDEGEL		=01	302/
			COMP			PROYECTO	CHIMAY		+CB01	
C	16 11 00	FREILER	APROB		AK-DH	PEDIDO	C19177011			
NO PLANOS RELACIONALES	FECHA	NOMBRE	ESCALA	1,000	ARCHIVO	16 11 00			CM98 3311F.302	C HOJA 42 DE 75 A3



DIAGRAMA ESQUEMATICO
CONTROL DE UNIDAD
MOD. DE ENTRADA DIGITAL



CONTACTOS CABLEADOS
HACIA TABLEROS DE
CAMPO



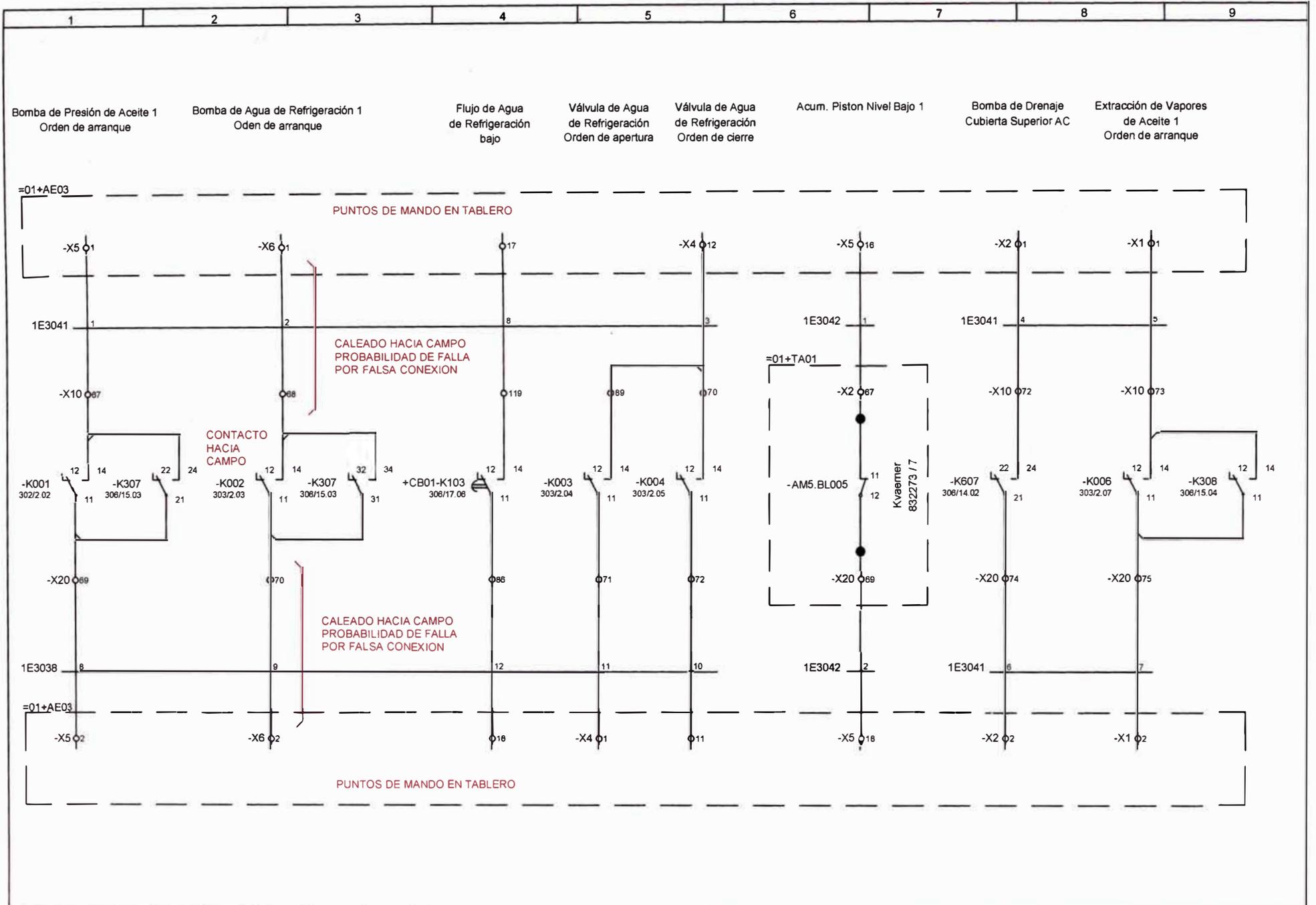
PREPAR	17.06.99	SCHANER	CLIENTE	EDEGEL
COMP			PROYECTO	CHIMAY
APROB	17.11.00	FREILER	AK-DH	PEDIDO C19177011
NO PLANOS RELACIONALES	FECHA	NOMBRE	ESCALA	1,000
			ARCHIVO	17.11.00



DIAGRAMA ESQUEMATICO
CONTROL DE UNIDAD
MOD. DE SALIDA DIGITAL

=01	303/
+CB01	
CM98 3311F.303	C
HOJA	2
DE	9
	A3

PLANO 5.6

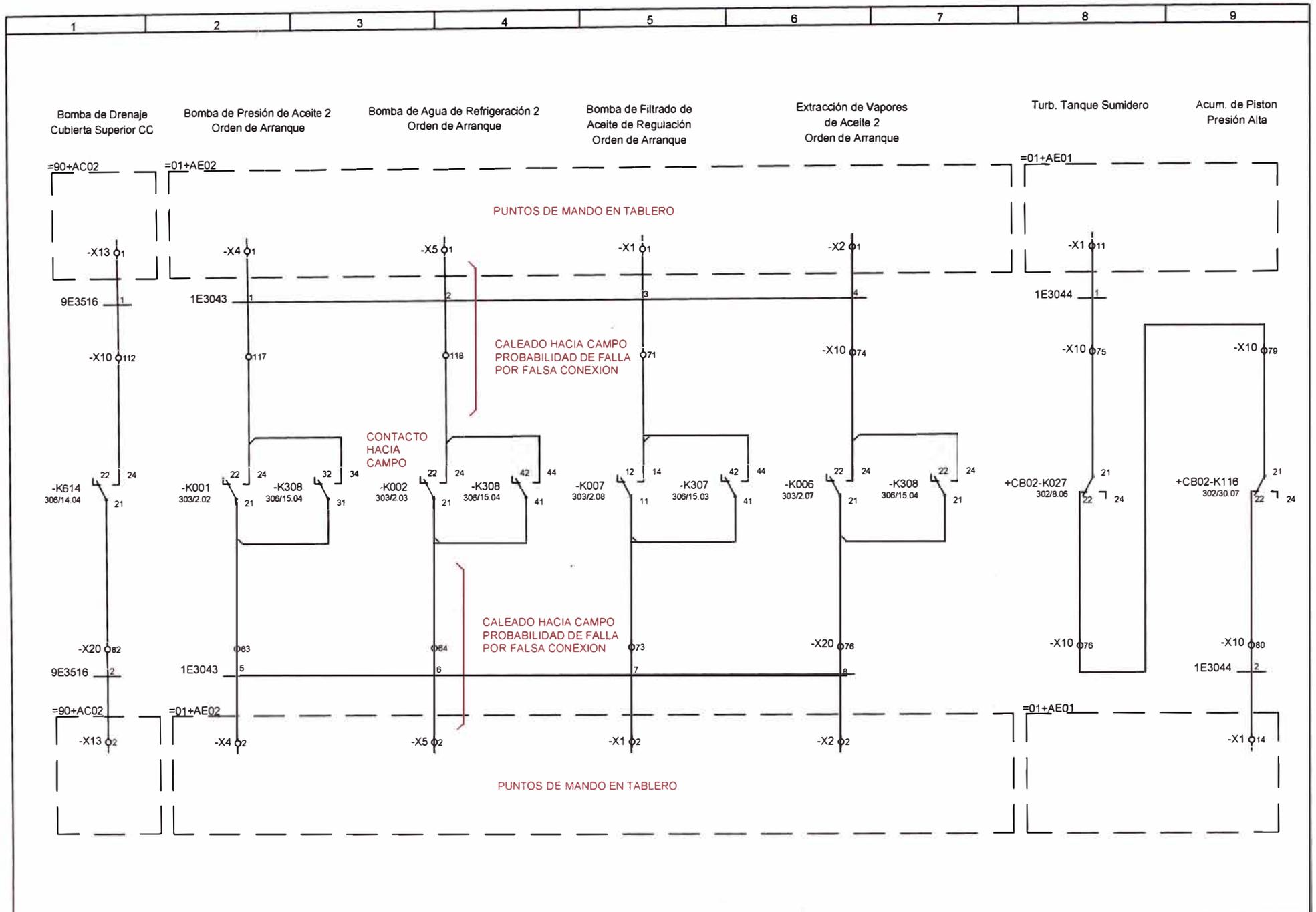


		PREPAR	24.05.99	PONW	CLIENTE EDEGEL			=01 307/	
		COMP			PROYECTO CHIMAY			+CB03	
C	17.11.00	FREILER	APROB	AK-DH	PEDIDO C19177011				
ND	PLANOS RELACIONALES	FECHA	NOMBRE	ESCALA	1.000	ARCHIVO 17.11.00			CM98.3311F.307
								C	HOJA 6 DE 8
								A3	



DIAGRAMA ESQUEMATICO
SISTEMA DE UNIDAD
CC DE MOTORES

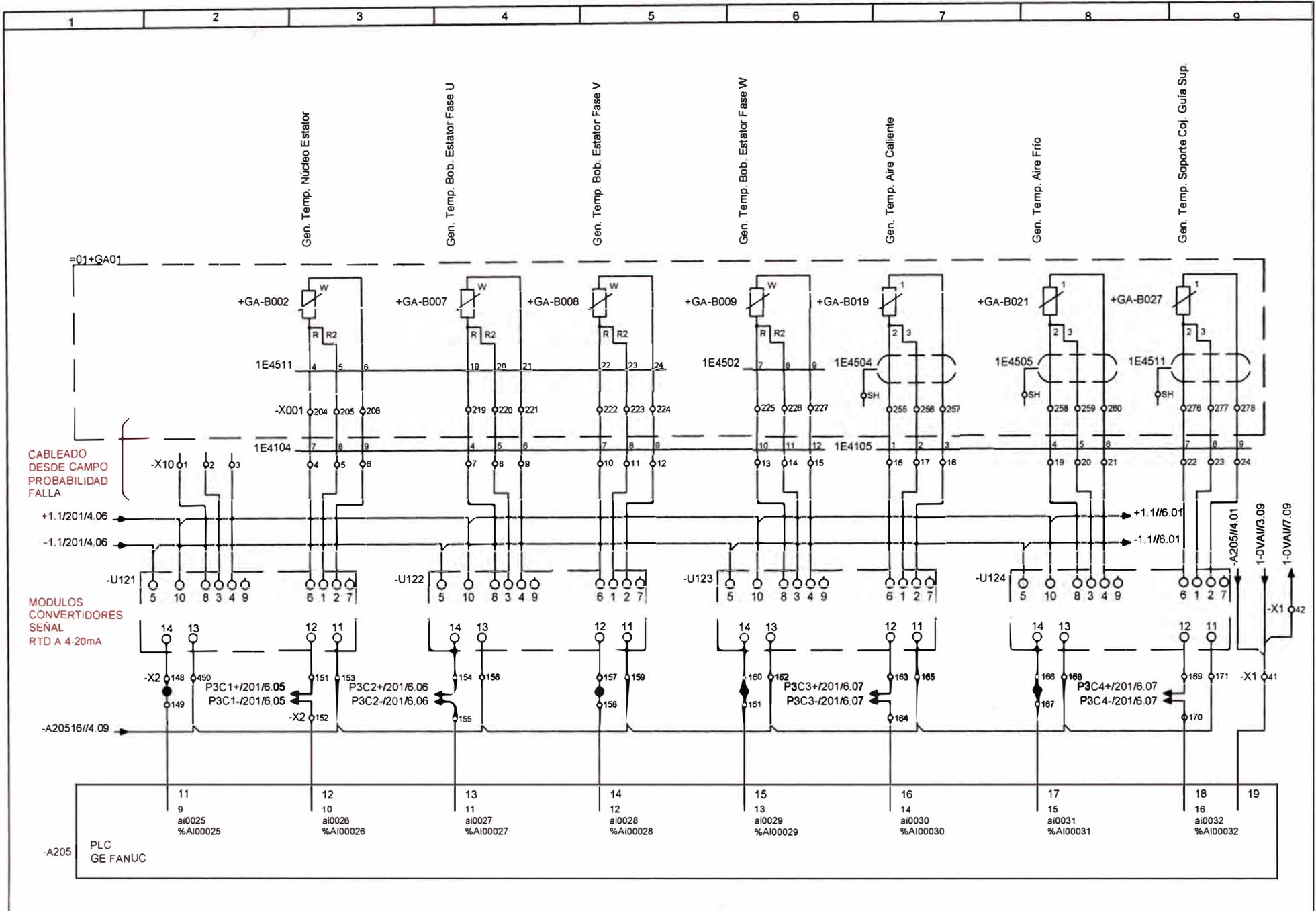
PLANO 5.7



			PREPAR	24.05.99	PONW	CLIENTE EDEGEL	VATECH <i>IND</i>	DIAGRAMA ESQUEMATICO CONTROL DE UNIDAD INDICACION	=01	307/	
			COMP			PROYECTO CHIMAY			+CB03		
C	17.11.00	FREILER	APROB		AK-DH	PEDIDO C19177011					
NO PLANOS RELACIONALES	FECHA	NOMBRE	ESCALA		1,000	ARCHIVO 17.11.00			CM98.3311F.307	HOJA 7 DE 8	

A3

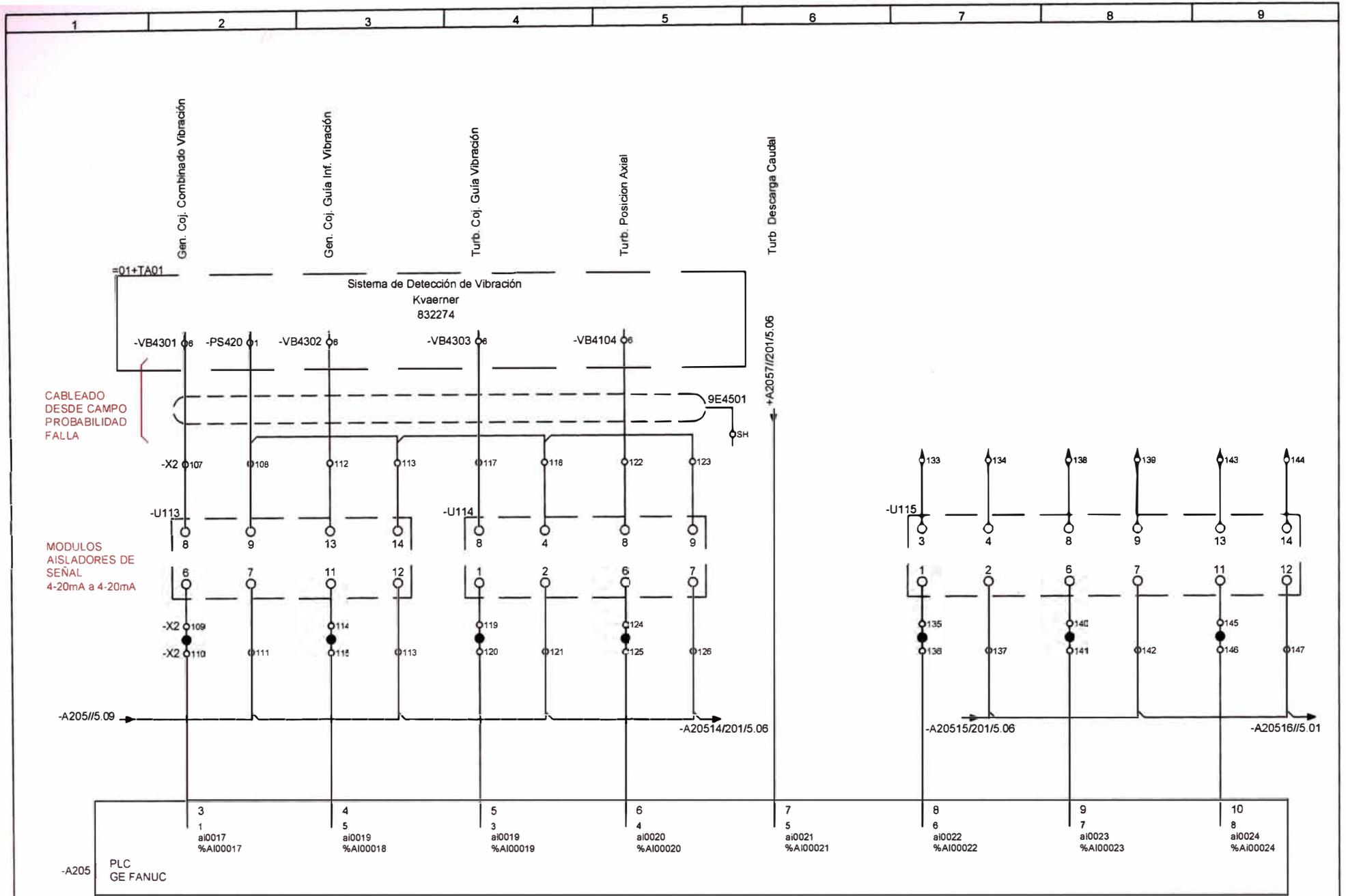
PLANO 5.9



			PREPAR	17.06.99	SCHANER	CLIENTE EDEGEL			=01	304/
			COMP			PROYECTO CHIMAY			+CB01	
8	04.02.00	SCHANER	APROB		AK-DH	PEDIDO C19177011				
NO PLANOS RELACIONALES	FECHA	NOMBRE	ESCALA		1,000	ARCHIVO 28.02.00			CM98.3311F.304	
									HOJA 5	A3
									DE 7	



DIAGRAMA ESQUEMATICO
CONTROL DE UNIDAD
MOD. DE ENTRADA ANALOG

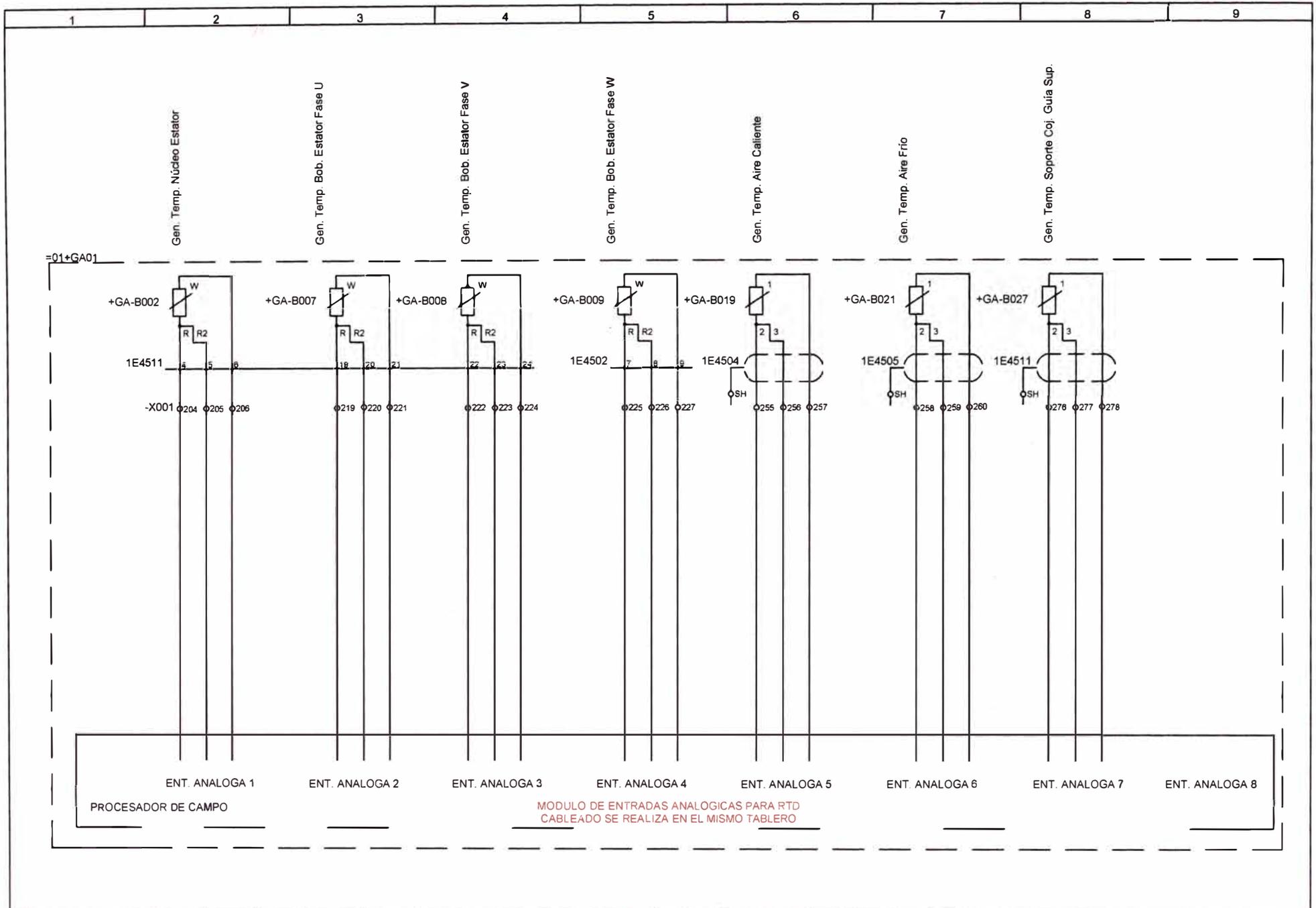


		PREPAR	17.06.99	SCHANER	CLIENTE EDEGEL			=01	304/
		COMP			PROYECTO CHIMAY			+CB01	
B	04.02.00	SCHANER	APROB	AK-DH	PEDIDO C19177011				
NO PLANOS RELACIONALES	FECHA	NOMBRE	ESCALA	1,000	ARCHIVO 29.02.00			CM98.3311F.304	B HOJA 4 DE 7 A3

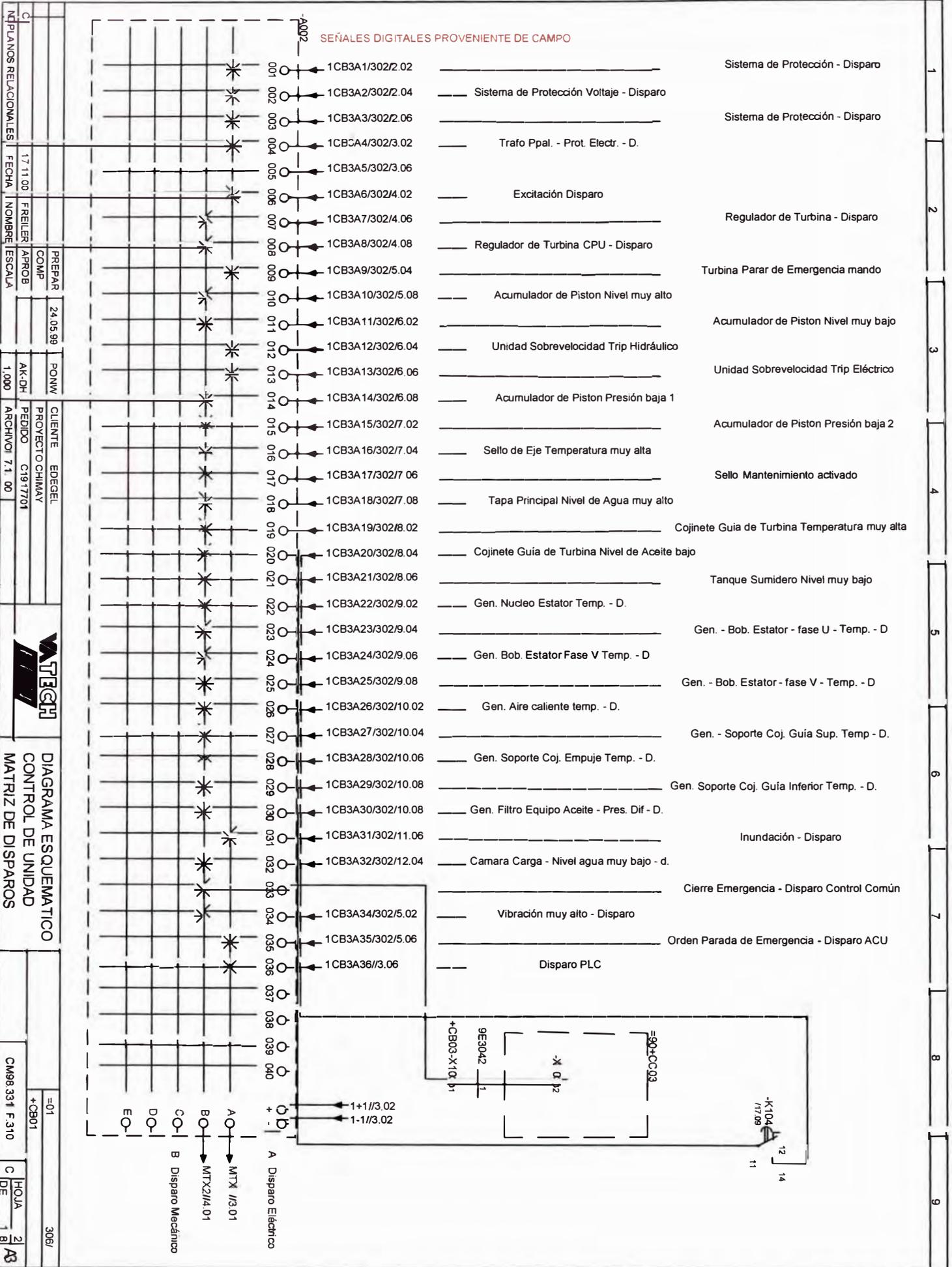


DIAGRAMA ESQUEMATICO
CONTROL DE UNIDAD
MOD. DE ENTRADA ANALOG

PLANO 5.11



		PREPAR	17.06.99	SCHANER	CLIENTE EDEGEL		DIAGRAMA ESQUEMATICO	=01	304/
		COMP			PROYECTO CHIMAY		CONTROL DE UNIDAD	+CB01	
B	04.02.00	SCHANER	APROB	AK-DH	PEDIDO C19177011		MOD. DE ENTRADA ANALOG	CM98.3311F.304	HOJA 5/7 A3
Nº PLANOS RELACIONALES	FECHA	NOMBRE	ESCALA	1.000	ARCHIVO 28.02.00				



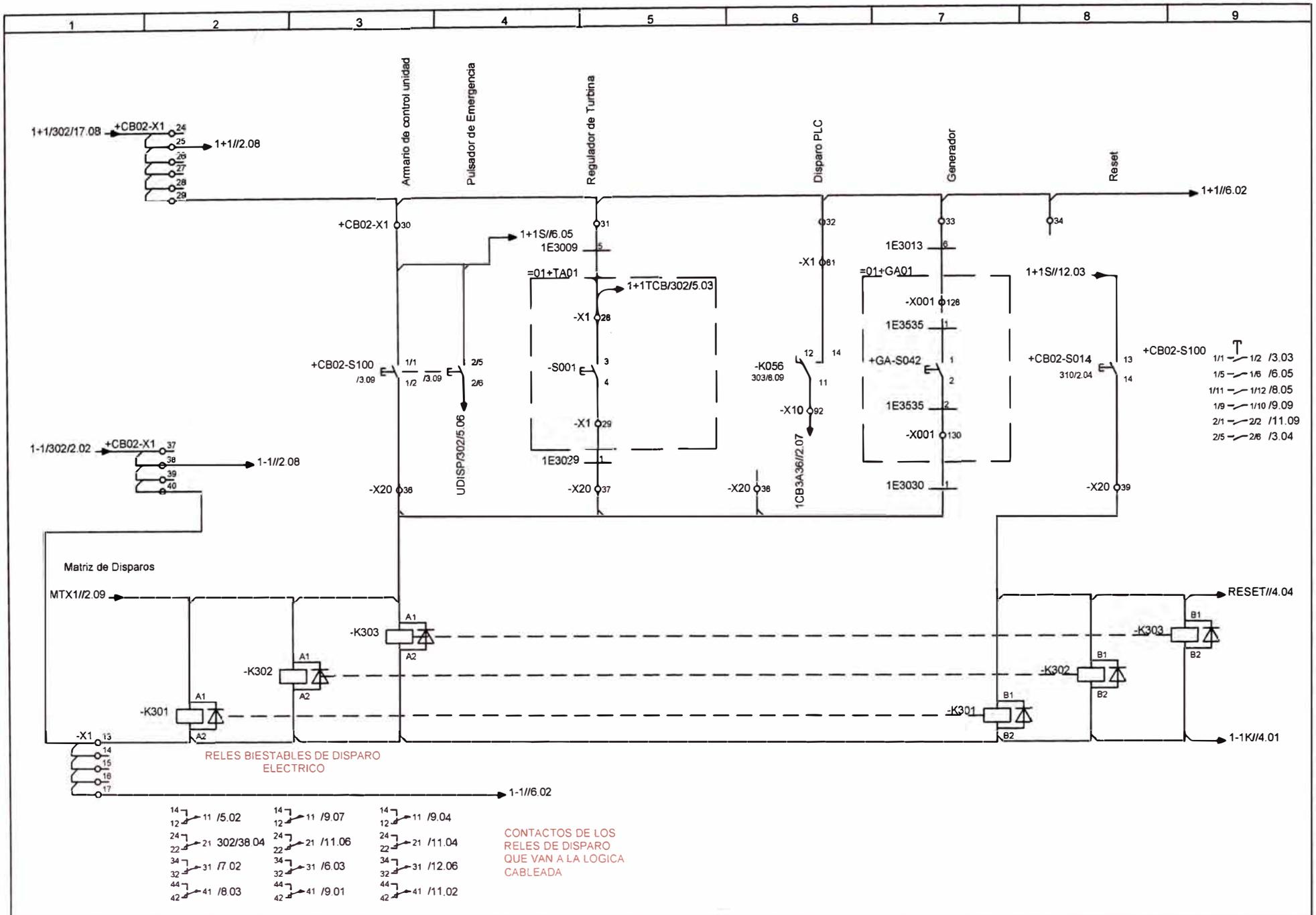
PREPAR	24.05.99	CLIENTE	EDEGEL
COMP		PROYECTO	CHIMAY
APROB		FECHA	17.11.00
ESCALA		NOMBRE	FREILER
		ESCALA	
PONV	1.000	ARCHIVO	7.1.00
AK-DH		PERDIDO	C19/17/01

DIAGRAMA ESQUEMATICO

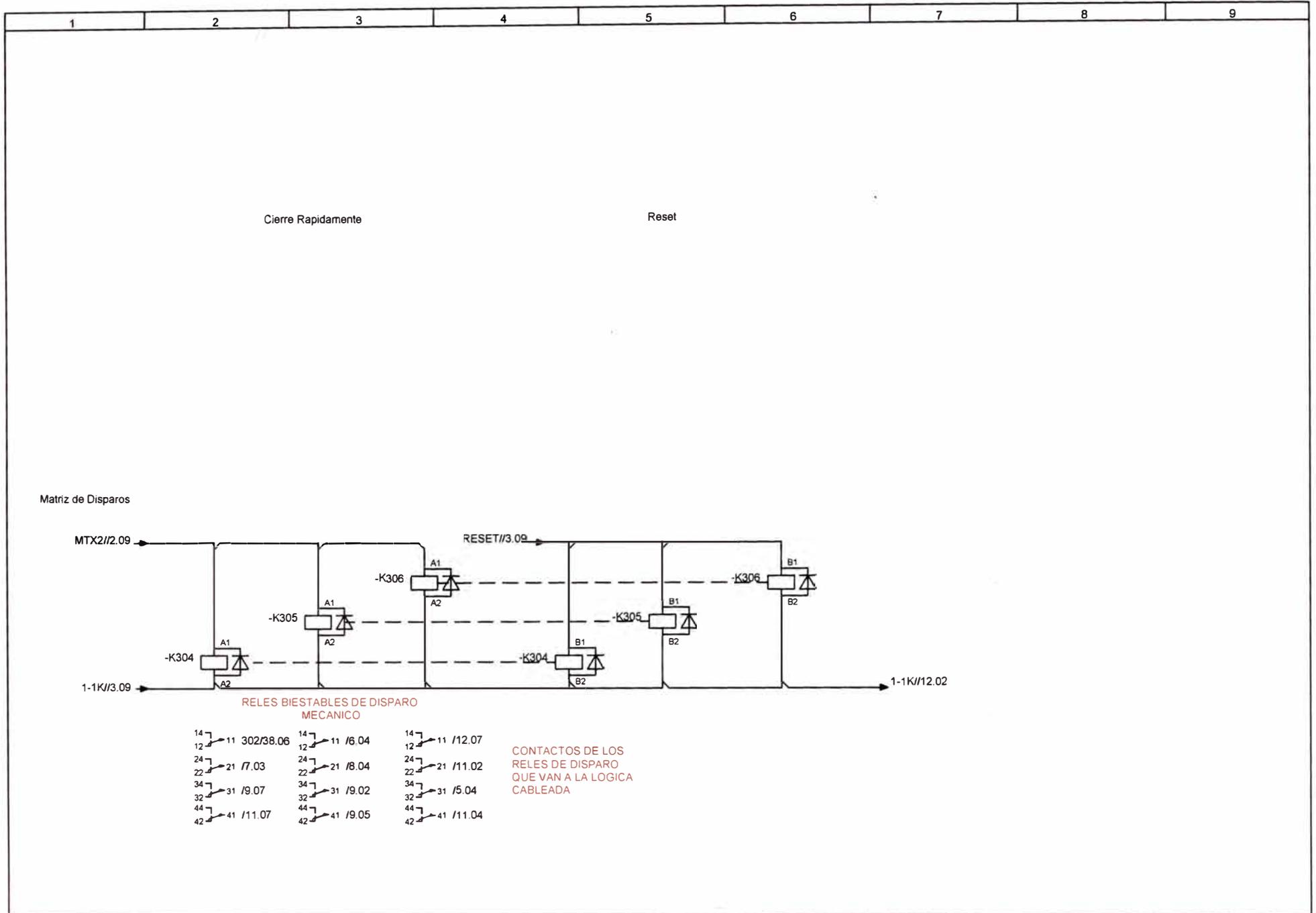
CONTROL DE UNIDAD

MATRIZ DE DISPAROS

CM98.33	F.310
+CB01	
HOJA	2
DE	8
	306/



			PREPAR	24.05.99	PONW	CLIENTE	EDEGEL	VATECH	DIAGRAMA ESQUEMATICO CONTROL DE UNIDAD CIERRE DE EMERGENCIA	=01 306/	
			COMP			PROYECTO	CHIMAY			+CB03	
C	17.11.00	FREILER	APROB		AK-DH	PEDIDO	C19177011			CM98.3311F.306	C HOJA 3
NO PLANOS RELACIONALES	FECHA	NOMBRE	ESCALA	1,000	ARCHIVO	17.11.00					DE 18



Matriz de Disparos

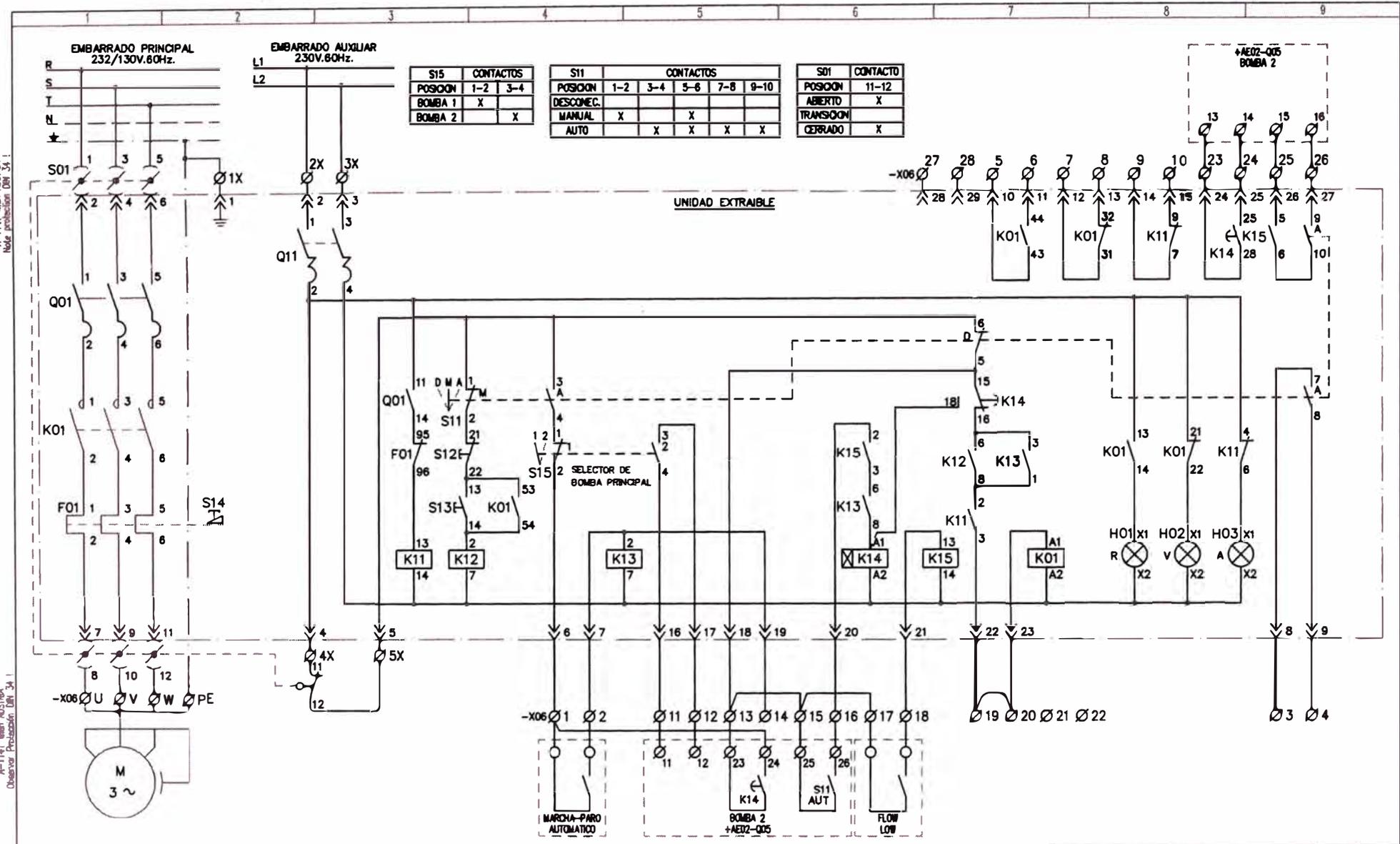
14 ↗ 11 /302/38.06	14 ↗ 11 /6.04	14 ↗ 11 /12.07
24 ↗ 21 /7.03	24 ↗ 21 /8.04	24 ↗ 21 /11.02
34 ↗ 31 /9.07	34 ↗ 31 /9.02	34 ↗ 31 /5.04
44 ↗ 41 /11.07	44 ↗ 41 /9.05	44 ↗ 41 /11.04

CONTACTOS DE LOS RELES DE DISPARO QUE VAN A LA LOGICA CABLEADA

PREPAR	24.05.99	PONW	CLIENTE EDEGEL		DIAGRAMA ESQUEMATICO CONTROL DE UNIDAD CIERRE RAPIDAMENTE	=01	/306
COMP			PROYECTO CHIMAY			+CB03	
C	17.11.00	FREILER	APROB	AK-DH	PEDIDO C19177011		
PLANOS RELACIONALES	FECHA	NOMBRE	ESCALA	1,000	ARCHIVO 17.11.00	CM98.3311F.306	C HOJA 4 / 18 A3 DE 18

This drawing is the PROPERTY of
VATECH ELIN GmbH
 Fuchsbühlstrasse 76
 A-1141 Wien AUSTRIA
 Make production DIN 34.1

Este plano es PROPIEDAD de
VATECH ELIN GmbH
 Fuchsbühlstrasse 76
 A-1141 Wien AUSTRIA
 Observe Producción DIN 34.1



S15	CONTACTOS	
POSICION	1-2	3-4
BOMBA 1	X	
BOMBA 2		X

S11	CONTACTOS				
POSICION	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
DESCONEC.					
MANUAL	X		X		
AUTO		X	X	X	X

S01	CONTACTO
POSICION	11-12
ABIERTO	X
TRANSICION	
CERRADO	X

+AE02-Q05
BOMBA 2

SEÑAL DESDE PLC
ORDEN DE ARRANQUE
DE BOMBAS

SEÑAL DESDE TABLERO
DE BOMBA 2 PARA
LA CONMUTACION

SEÑAL DESDE CAMPO
ORDEN DE CONMUTACION
DE BOMBAS

BOMBA DE AGUA REFRIGERACION 1	55KW	197.2A
-------------------------------	------	--------

C.E. CONSONNI, S.A. N°: 62.638

= O1
+ AE03-Q06

CM98.3309A-701	HOJA 62	A3
----------------	---------	----

CAO A32702

IND.	PLANOS RELACIONADOS	FECHA	NOMBRE	ESCALA	1:20	PREPARADO	22.04.99	CONS.	CLIENTE	EDEGEL	
1	AS BUILT	18.09.00	PRH	APROBADO	AK-DH	PROYECTO	CHIMAY	PEDIDO N°	C19177011	ARCHIVO	00/11/03 62638-62

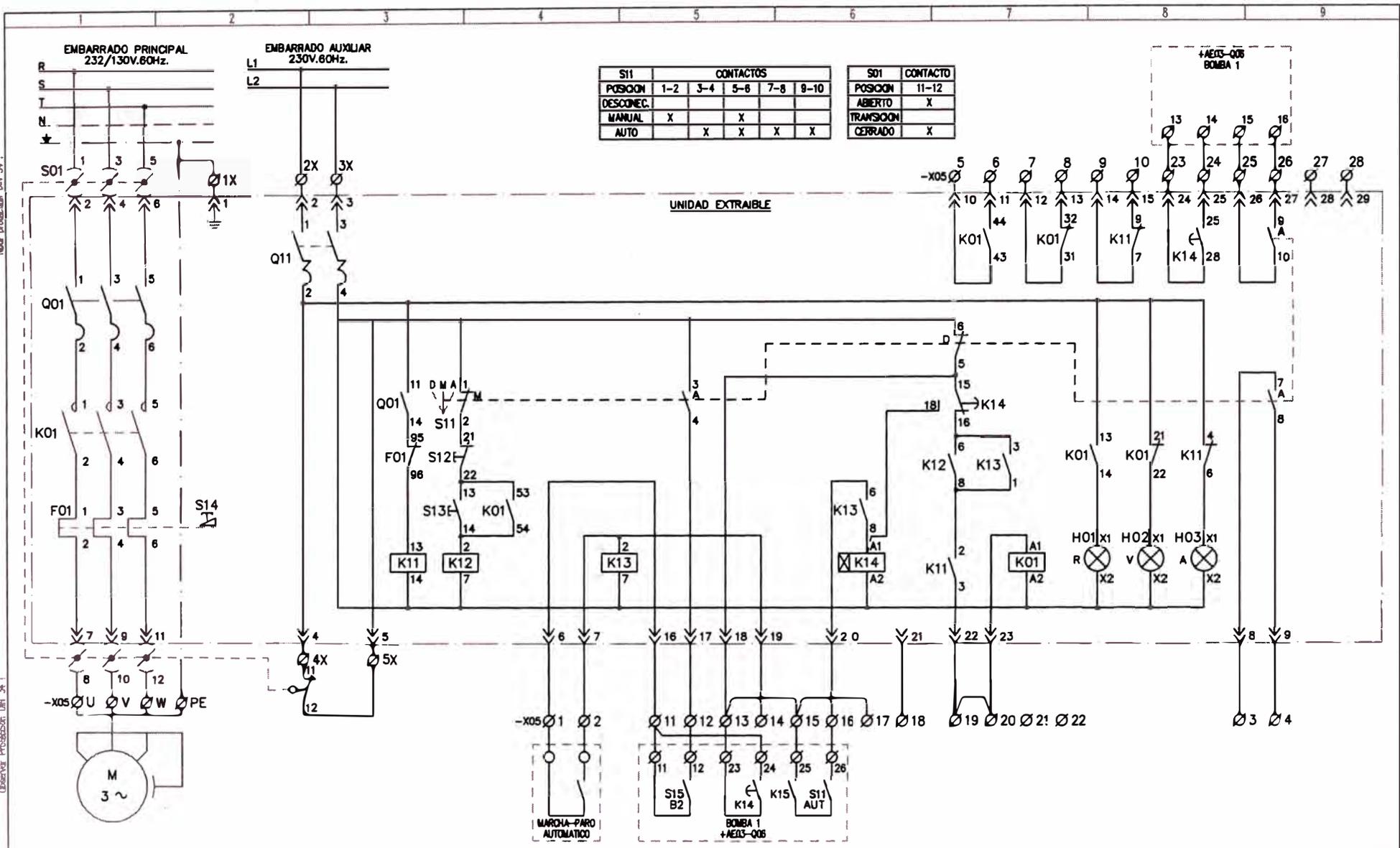


ESQUEMA DE CABLEADO
CENTRO DE CONTROL DE MOTORES
UNIDAD 1

PLANO 5.16

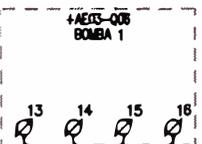
This drawing is the PROPERTY of
VATECH ELIN GmbH
Friedenstraße 76
A-1110 Wien AUSTRIA
Nicht reproduzieren DIN 34.1

Este plano es PROPIEDAD de
VA TECH ELIN GmbH
Friedenstraße 76
A-1110 Wien AUSTRIA
Observar Prohibición DIN 34.1



S11	CONTACTOS				
POSICION	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
DESCONEC.					
MANUAL	X		X		
AUTO		X	X	X	X

S01	CONTACTO
POSICION	11-12
ABIERTO	X
TRANSICION	
CERRADO	X



SEÑAL DESDE PLC
ORDEN DE ARRANQUE
DE BOMBAS

SEÑAL DESDE TABLERO
DE BOMBA 1 PARA
LA COMUTACION

BOMBA DE AGUA REFRIGERACION 2	55KW	197,2A
-------------------------------	------	--------

C.E. CONSONNI, S.A. N°: 62.638

= O1
+ AE02-Q05

CM98.3309A-701	HOJA 53	A3
----------------	---------	----

IND. PLANOS RELACIONADOS

IND.	PLANOS RELACIONADOS	FECHA	HOMBRE	ESCALA
1	AS BUILT	18.09.00	PRH	

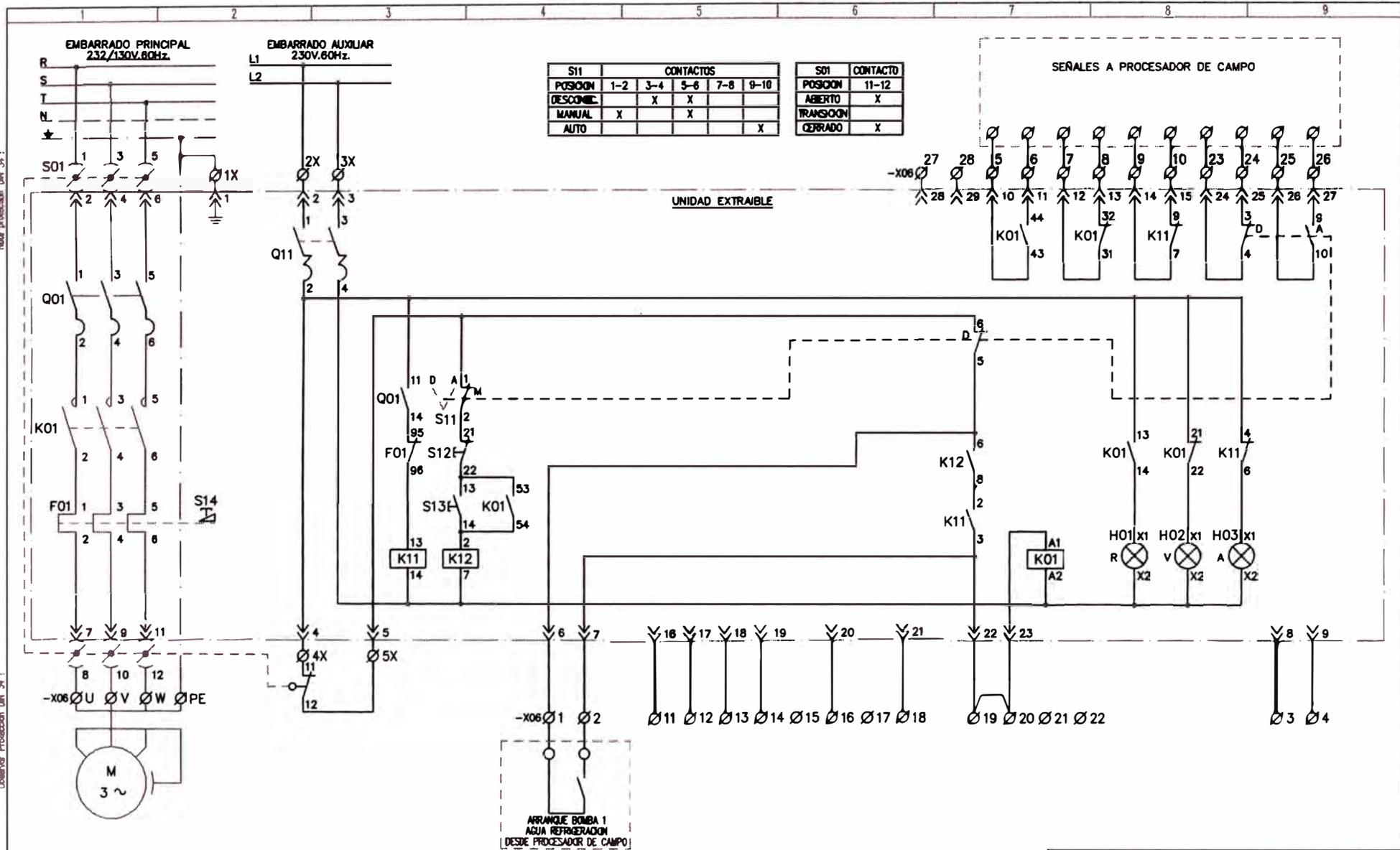
PREPARADO	22.04.99	CONS	CLIENTE	EDEGEL
COMPL.			PROYECTO	CHMAY
APROBADO		AK-DH	PEDIDG N°	C19177011
			ARCHIVO	00/11/03 62638-53



ESQUEMA DE CABLEADO
CENTRO DE CONTROL DE MOTORES
UNIDAD 1

This drawing is the PROPERTY of
VA TECH ELIN GmbH
 Pöchlendorfer Str. 26
 A-1141 Wien AUSTRIA
 Österreichische Patent- und
 Markenbehörde, D.M. 34.1

Este plano es PROPIEDAD de
VA TECH ELIN GmbH
 Pöchlendorfer Str. 26
 A-1141 Wien AUSTRIA
 Österreichische Patent- und
 Markenbehörde, D.M. 34.1



S11	CONTACTOS				
POSICION	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
DESCONEC.		X	X		
MANUAL	X		X		
AUTO					X

S01	CONTACTO
POSICION	11-12
ABIERTO	X
TRANSICION	
CERRADO	X

BOMBA DE AGUA REFRIGERACION 1 55KW 197,2A

C.E. CONSONNI, S.A. N°: 62.638

PREPARADO	22.04.99	CONS	CLIENTE	EDEGEL
COMPR.			PROYECTO	CHIMAY
APROBADO		AK-DH	PELIDO N°	C19177011
ESCALA	1:20		ARCHIVO	00/11/03 62638-62



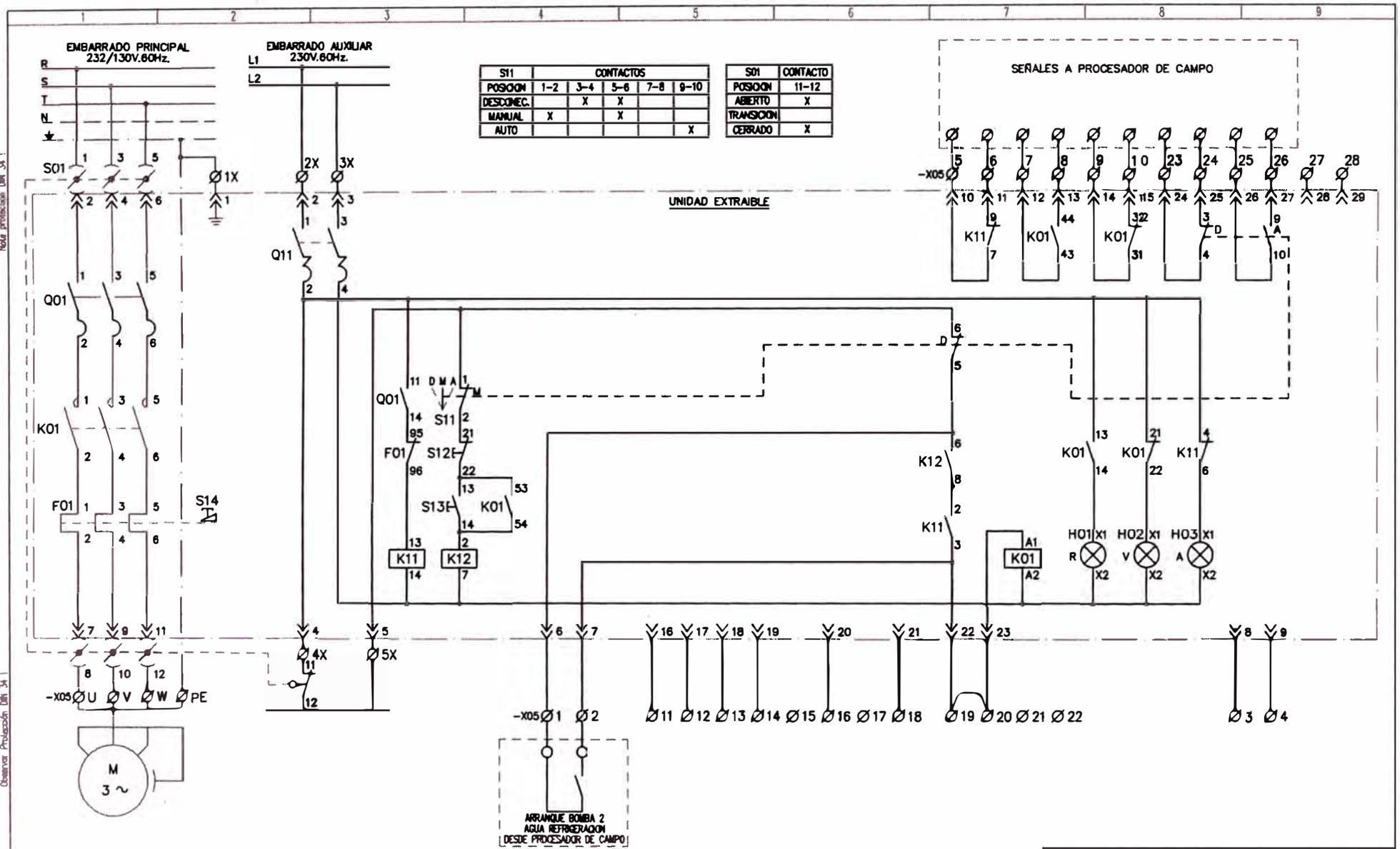
ESQUEMA DE CABLEADO
CENTRO DE CONTROL DE MOTORES
UNIDAD 1

= 01	
+ AE03-Q06	
CM98.3309A.701-	1 HOJA DE 62
	A3

PLANO 5.18

This drawing is the PROPERTY of
VA TECH ELIN GmbH
Ferdinandstrasse 76
A-1141 Wien, AUSTRIA
Nieder-Produktion, Blatt 34.1

Este plano es PROPIEDAD de
VA TECH ELIN GmbH
Ferdinandstrasse 76
A-1141 Wien, AUSTRIA
Nieder-Produktion, Blatt 34.1



BOMBA DE AGUA REFRIGERACION 2		55kw	197,2A
C.E. CONSONNI, S.A. N°: 62.638			
= 01			
+ AE02-Q05			
CM98.3309A.701-	1	HOJA 53	A3

CAC ASSETZ

IND	AS BUILT	18.09.00	PRH	PREPARADO	22.04.99	CONS	CUENTE	EDEGEL
IND	PLANOS RELACIONADOS	FECHA	NUMERO	APROBADO	1:20	AK-DH	PROYECTO	CHIMAY
			ESCALA				PEDIDO N°	C19177011
							ARCHIVO	00/11/03 62638-53



ESQUEMA DE CABLEADO
CENTRO DE CONTROL DE MOTORES
UNIDAD 1

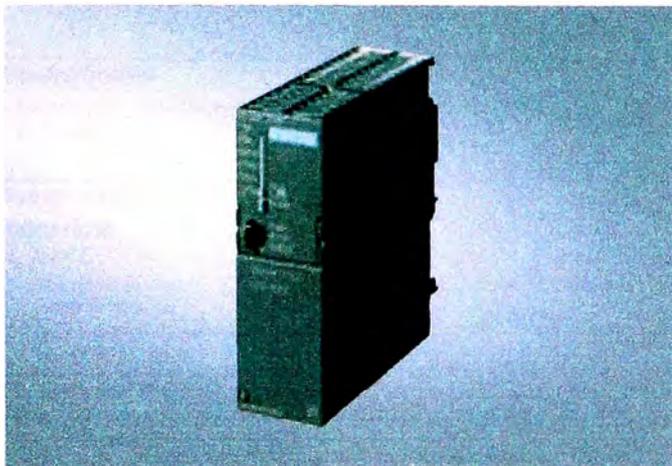
ANEXOS

SIMATIC S7-300

Central processing units

CPU 312C to CPU 317F-2 DP

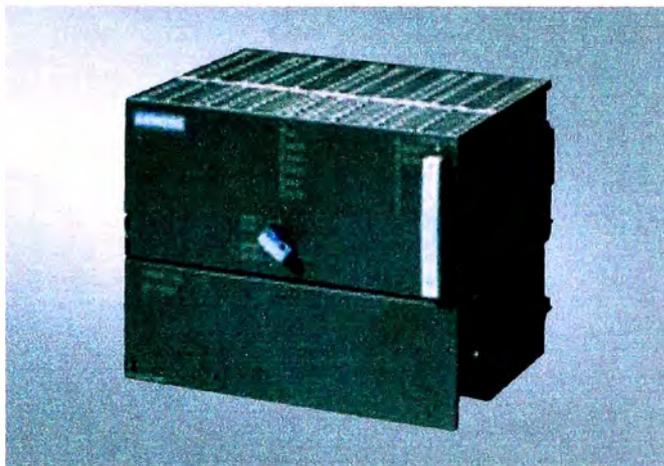
CPU 315-2 DP



- The CPU with medium to large program memory and quantity framework for the use, if required, of SIMATIC Engineering Tools
- High processing performance in binary and floating-point arithmetic
- PROFIBUS DP master/slave interface
- For extensive I/O configurations
- For setting up distributed I/O structures

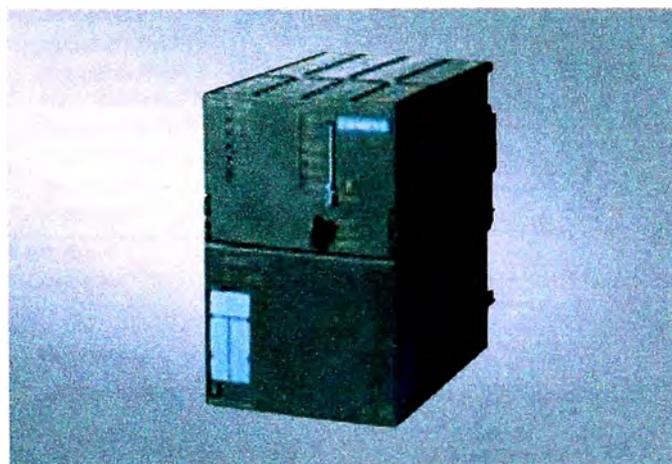
Micro memory card required for operation of CPU.

CPU 318-2 DP



- The CPU with a large program memory and PROFIBUS DP master/slave interface
- For extensive I/O configurations
- For setting up distributed I/O structures

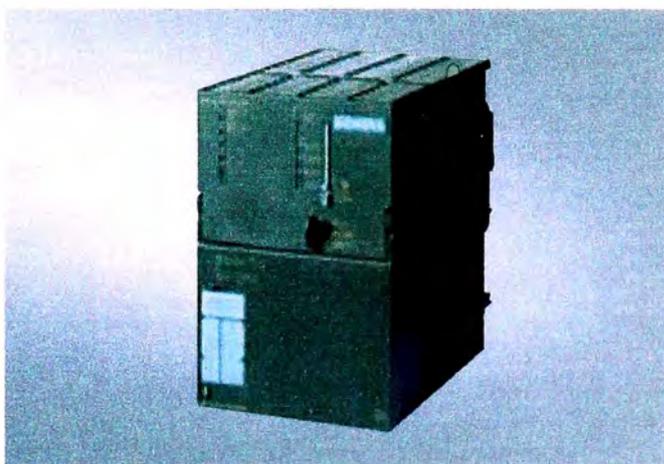
CPU 317-2 DP



- The CPU with a large program memory and quantity framework for demanding requirements
- For multisector automation tasks in the construction of series machines, special machines and plants
- Used as a central controller on production lines with central and distributed I/O
- High processing performance in binary and floating-point arithmetic
- PROFIBUS DP master/slave interface
- For extensive I/O configurations
- For setting up distributed I/O structures
- Supports as an option the use of SIMATIC Engineering Tools
- Distributed intelligence in Component based Automation (CBA) on PROFIBUS DP

Micro memory card required for operation of CPU.

CPU 317-2 PN/DP



- The CPU with a large program memory and quantity framework for demanding requirements
- Distributed intelligence in Component based Automation (CBA) on PROFINET
- PROFINET proxy for intelligent devices on PROFIBUS DP in Component based Automation (CBA)
- PROFINET I/O controller for operating distributed I/O on PROFINET
- For multisector automation tasks in the construction of series machines, special machines and plants
- Used as a central controller on production lines with central and distributed I/O
- For extensive I/O configurations
- For setting up distributed I/O structures
- High processing performance in binary and floating-point arithmetic
- Combined MPI/PROFIBUS DP-master/slave interface
- Supports as an option the use of SIMATIC Engineering Tools

Micro memory card required for operation of CPU

Technical specifications (continued)

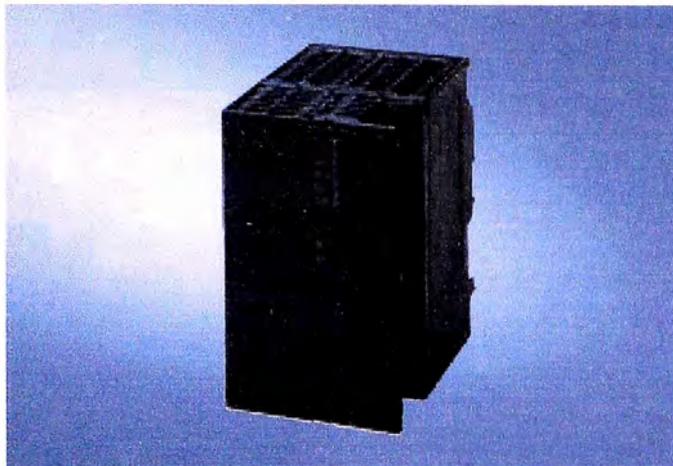
	6ES7 312-1AD10-0AB0	6ES7 314-1AF10-0AB0	6ES7 315-2AG10-0AB0	6ES7 317-2AJ10-0AB0	6ES7 318-2AJ00-0AB0
Product version					
•Associated programming package	STEP 7 as of 5.1 + SP 4	STEP 7 as of 5.1 + SP 4	STEP 7 as of 5.1 + SP 4	STEP 7 as of 5.2 + SP 1	STEP 7 V 5.1 + Service Pack 02
Supply voltages					
Rated value					
- 24 V DC	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
- permissible range, lower limit (DC)	20.4 V	20.4 V	20.4 V	20.4 V	20.4 V
- permissible range, upper limit (DC)	28.8 V	28.8 V	28.8 V	28.8 V	28.8 V
Voltages and currents					
•External fusing, for supply lines (recommendation)	Min. 2 A	Min. 2 A	Min. 2 A	Min. 2 A	LS switch; 2 A, Type B or C
Current consumption					
•Inrush current, max.					12 A
•Inrush current, typ.	2.5 A	2.5 A	2.5 A	2.5 A	8 A
• $I_{\Delta T}$	0.5 A ² s	0.5 A ² s	0.5 A ² s	1 A ² s	
•from supply voltage L+, max.	600 mA	600 mA	800 mA		
•Power dissipation, typical	2.5 W	2.5 W	2.5 W	4 W	12 W
Memory/backup					
Memory					
•Working memory					
- integral	16 KByte	48 KByte	128 KByte	512 KByte	512 KByte
- expandable	No	No	No	No	
•Load memory					
- pluggable (MMC)	Yes	Yes	Yes	Yes	
- pluggable (MMC), max.	4 MByte	8 MByte	8 MByte	8 MByte	
- expandable FEPROM					Yes
- expandable FEPROM, max.					4 MByte
- integral RAM, max.					64 KByte
- expandable RAM					Yes
- expandable RAM, max					2 MByte
Backup					
- available	Yes; guaranteed by MMC (maintenance-free)	Yes			
- with battery					Yes; all blocks
- without battery					Yes; 11 KByte

SIMATIC S7-300

Communication

CP 343-1

Overview



- Connection of SIMATIC S7-300 to Industrial Ethernet
 - 10/100 Mbit/s full/half duplex connection with Autosensing for automatic switchover
 - Connection for RJ45
 - Multi-protocol operation with TCP and UDP transport protocol
 - Adjustable Keep Alive function
- Communication services:
 - TCP/IP und UDP transport protocol
 - PG/OP communication
 - S7 communication (client, server, multiplexing)
 - S5-compatible communication
- Multicast for UPD
- Remote programming and initial startup via the network
- SNMP-supported diagnostics
- Configuration of CP 343-1 with the NCM S7 options package for Industrial Ethernet (integrated into STEP 7)
- Cross-network programming device/operator panel communication through S7 routing

Technical specifications

Data transmission rate	10/100 Mbit/s autosensing
Interfaces	
• 10BaseT, 100BaseTX	RJ45
• Connection for power supply	2-pin plug-in terminals
Supply voltage	+5 V DC (±5%) and +24 V DC (±5%)
Current consumption	
• From backplane bus	200 mA
• From external 24 V DC	Typ. 160 mA Max. 200 mA
Power loss	5.8 W
Perm. environmental conditions	
• Operating temperature	0 °C to +60 °C
• Transport/storage temperature	-40 °C to +70 °C
• Relative humidity	Max. 95% at +25 °C
Design	
• Module format	Compact module S7-300, double width
• Dimensions (W x H x D) in mm	80 x 125 x 120
• Weight	Approx. 600 g
Configuration software	NCM S7 for Industrial Ethernet (supplied with STEP 7 V5.2)

Performance data

S5-compatible communication (SEND/RECEIVE)

• Sum of all simultaneously operable TCP/UDP connections	Max. 16
• Useful data	
- TCP	8 KB
- UDP	2 KB

S7 communication

• Number of connections	Max. 16
-------------------------	---------

PG/OP communication

• Number of operable OP connections (acyclic services)	16
--	----

Multi-protocol operation

• Sum of all simultaneously operable connections	Max. 48
--	---------

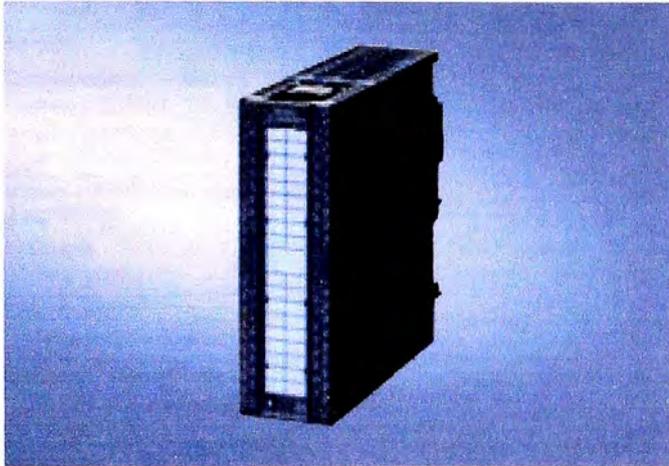
Multicast	16
------------------	----

SIMATIC S7-300

Digital modules

SM 321 digital input modules

Overview



- Digital inputs
- For connecting standard switches and two-wire proximity switches (BERO)

Technical specifications

	6ES7 321-1BH02-0AA0	6ES7 321-1BH50-0AA0	6ES7 321-1BL00-0AA0	6ES7 321-1BH10-0AA0
Voltagages and currents				
Load voltage L+				
- Rated value (DC)	24 V	24 V	24 V	24 V
Current consumption				
•from load voltage L+ (no load), max.	25 mA			
•from backplane bus 5 V DC, max.	10 mA	10 mA	15 mA	110 mA
•Power dissipation, typical	3.5 W	3.5 W	6.5 W	3.8 W
Connection system				
•Requisite front connector	20-pin	20-pin	40-pin	20-pin
Clock synchronism				
•Clock synchronous operation	No	No	No	Yes
Digital inputs				
•Number of digital inputs	16	16	32	16
Number of inputs that can be driven in parallel				
•vertical mounting positions				
- up to 40°C	16	16	32	16
•horizontal mounting positions				
- up to 40°C			32	
- up to 60°C	16	16	16	16
Length of cable				
- Length of cable shielded, max.	1,000 m	1,000 m	1,000 m	1,000 m
- Length of cable unshielded, max.	600 m	600 m	600 m	600 m
•Input characteristic to comply with IEC 1131, Type 1	Yes	Yes	Yes	Yes
Input voltage				
- Rated value, DC	24 V	24 V	24 V	24 V
- for signal "0"	-30 V to 5 V	30 V to -5V	-30 to 5 V	-30 V to 5 V
- for signal "1"	13 to 30 V	- 13to - 30V	13 to 30 V	13 to 30 V
Input current				
- for 1 signal, typical	7 mA	7 mA	7 mA	7 mA
Input delay (at rated value of the input voltage)				
•For standard inputs				
- at 0 to 1, min.	1.2 ms	1.2 ms	1.2 ms	25 µs
- at 0 to 1, max.	4.8 ms	4.8 ms	4.8 ms	75 µs

Technical specifications (continued)

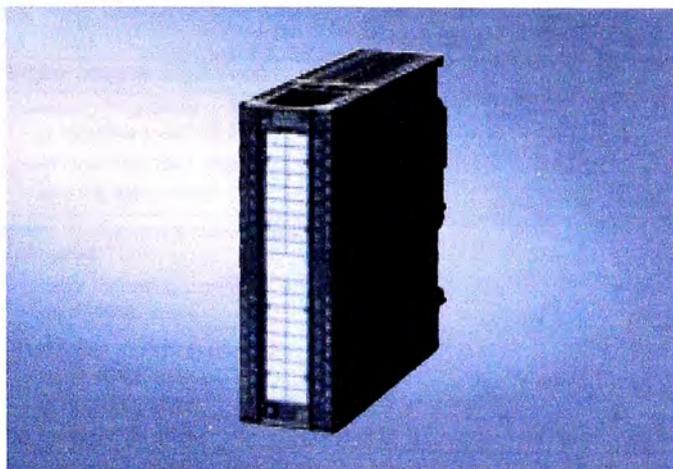
	6ES7 321-1BH02-0AA0	6ES7 321-1BH50-0AA0	6ES7 321-1BL00-0AA0	6ES7 321-1BH10-0AA0
Sensor				
Connectable encoders				
- 2-wire BEROs	Yes	Yes	Yes	Yes
- permissible closed-circuit current (2-wire BEROs), max.	1.5 mA	1.5 mA	1.5 mA	1.5 mA
Status information/ interrupts/ diagnostics				
Interrupts				
- Interrupts	No	No	No	No
Diagnostics				
- Diagnostic functions	No	No	No	No
Diagnostic display LED				
- Status display digital input (green)	Yes	Yes	Yes	Yes
Insulation				
• Insulation tested with	500 V DC	500 V DC	500 V DC	500 V DC
Potentials/ electrical isolation				
Digital input functions				
- between the channels			Yes	
- between the channels, in groups of	16	16	16	16
- between the channels and the backplane bus	Yes; Optocoupler	Yes; Optocoupler	Yes; Optocoupler	Yes; Optocoupler
Dimensions and weight				
• Weight, approx.	200 g	200 g	260 g	200 g
• Width	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm
• Height	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm
• Depth	120 mm	120 mm	120 mm	120 mm
6ES7 321-7BH01-0AB0 6ES7 321-1CH00-0AA0 6ES7 321-1CH20-0AA0 6ES7 321-1FH00-0AA0				
Voltages and currents				
Load voltage L+				
- Rated value (DC)	24 V	24 V	48 V	
Load voltage L1				
- Rated value (AC)		24 V		230 V; 120/230V AC, same phase only
Current consumption				
• from load voltage L+ (no load), max.	90 mA			
• from backplane bus 5 V DC, max.	130 mA	100 mA	40 mA	29 mA
• Power dissipation, typical	4 W	1.5 W; at 24 V; 2.8 W at 48 V	4.3 W	4.9 W
Connection system				
• Requisite front connector	20-pin	40-pin	20-pin	20-pin
Clock synchronism				
• Clock synchronous operation	Yes	No	No	No

SIMATIC S7-300

Digital modules

SM 322 digital output modules

Overview



- Digital outputs
- For connecting solenoid valves, contactors, low-power motors, lamps and motor starters

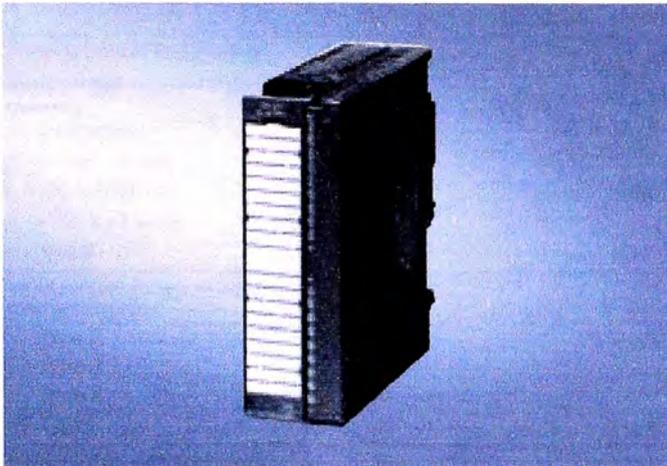
Technical specifications

	6ES7 322-1BH01-0AA0	6ES7 322-1BH10-0AA0	6ES7 322-1BL00-0AA0	6ES7 322-8BF00-0AB0	6ES7 322-5GH00-0AB0	6ES7 322-1CF00-0AA0
Voltages and currents						
Load voltage L+ - Rated value (DC)	24 V	24 V	24 V	24 V	24 V; 24/48	48 V; DC 48 to 125 V
Current consumption						
• from load voltage L+ (no load), max.	80 mA	110 mA	160 mA	90 mA	200 mA	2 mA
• from backplane bus 5 V DC, max.	80 mA	70 mA	110 mA	70 mA	100 mA	100 mA
• Power dissipation, typical	4.9 W	5 W	6.6 W	5 W	2.8 W	7.2 W
Connection system						
• Requisite front connector	20-pin	20-pin	40-pin	20-pin	40-pin	20-pin
Digital outputs						
• Number of digital outputs	16	16	32	8	16	8
• Length of cable shielded, max.	1,000 m	1,000 m	1,000 m	1,000 m	1,000 m	1,000 m
• Length of cable unshielded, max.	600 m	600 m	600 m	600 m	600 m	600 m
• Short-circuit protection of the output	Yes; electronic	Yes; electronic	Yes; electronic	Yes; electronic	No; provided externally	Yes; electronic
• Limitation of voltage induced on circuit interruption to	L+ (-53 V)	L+ (-53 V)	L+ (-53 V)	L+ (-45 V)		M (-1V)
• Lamp load, max.	5 W	5 W	5 W	5 W	2.5 W	15 W; 15 W (48 V) or 40 W (125 V)
Output voltage						
- for 1 signal	L+ (-0.8 V)	L+ (-0.8 V)	L+ (-0.8 V)	L+ (-0.8 V to -1.6 V)	L+ (-0.25 V)	L+ (-1.2V)
Output current						
- for 1 signal rated value	0.5 A	0.5 A	0.5 A	0.5 A	0.5 A	1.5 A
- for 1 signal permissible range for 0 to 40 °C, min.	5 mA	5 mA	5 mA	10 mA		10 mA
- for 1 signal permissible range for 0 to 40 °C, max.	0.6 A	0.6 A	0.6 A	0.6 A		1.5 A
- for 1 signal permissible range for 40 to 60 °C, min.	5 mA	5 mA	5 mA	10 mA		10 mA
- for 1 signal permissible range for 40 to 60 °C, max.	0.6 A	0.6 A	0.6 A	0.6 A		1.5 A
- for 1 signal minimum load current	5 mA	5 mA	5 mA	10 mA		10 mA
- for 1 signal permissible surge current, max.					1.5 A; for 50 ms, 1 A ² s one-off	3 A; for 10 ms
- for 0 signal residual current, max.	0.5 mA	0.5 mA	0.5 mA	0.5 mA	10 µA	0.5 mA

Technical specifications (continued)

	6ES7 322-1BH01-0AA0	6ES7 322-1BH10-0AA0	6ES7 322-1BL00-0AA0	6ES7 322-8BF00-0AB0	6ES7 322-5GH00-0AB0	6ES7 322-1CF00-0AA0
Digital outputs (continued)						
Switching frequency						
- at resistive load, max.	100 Hz	1,000 Hz	100 Hz	100 Hz	10 Hz	25 Hz
- at inductive load, max.	0.5 Hz	0.5 Hz	0.5 Hz	2 Hz		0.5 Hz
- at lamp load, max.	10 Hz	10 Hz	10 Hz	10 Hz	0.5 Hz	10 Hz
Summation current of the outputs (per group)						
•vertical mounting positions						
- up to 40°C., max.	2 A	2 A	2 A	4 A		4 A
•horizontal mounting positions						
- up to 40°C., max.	4 A	4 A	4 A	4 A		6 A
- up to 50°C., max.						4 A
- up to 60°C., max.	3 A	3 A	3 A	3 A	0.5 A	3 A
•all other mounting positions					0.5 A	
- up to 40°C., max.						
Status information/ Interrupts/ diagnostics						
Interrupts						
- Diagnostic interrupt	No	No	No	Yes; by channel	Yes; parameterizable	No
Diagnostics						
- Diagnostics	No	No	No	Yes	Yes; Parameters can be assigned	No
Insulation						
•Insulation tested with	500 V DC	500 V DC	500 V DC	500 V DC	1500 V AC	1500 V AC
Potentials/ electrical isolation						
Digital output functions						
- between the channels, in groups of	8	8	8	8	1	4
- between the channels and the backplane bus	Yes; Optocoupler	Yes; Optokopler	Yes; Optokopler	Yes; Optokopler	Yes; Optokopler	Yes; Optokopler
Dimensions and weight						
•Weight, approx.	190 g	200 g	260 g	210 g	260 g	250 g
•Width	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm
•Height	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm
•Depth	120 mm	120 mm	120 mm	120 mm	120 mm	120 mm
	6ES7 322-1BF01-0AA0	6ES7 322-1FF01-0AA0	6ES7 322-5FF00-0AB0	6ES7 322-1FH00-0AA0	6ES7 322-1FL00-0AA0	6ES7 322-1HF01-0AA0
Voltages and currents						
Load voltage L+						
- Rated value (DC)	24 V					24 V
Load voltage L1						
- Rated value (AC)		230 V; AC 120/230 V	230 V; AC 120/230 V	230 V; AC 120/230 V	120 V; AC 120/230 V	
Current consumption						
•from load voltage L+ (no load), max.	60 mA			2 mA		110 mA; Relay current consumption
•from load voltage L1 (no load), max.		2 mA	2 mA	3 mA	10 mA	110 mA
•from backplane bus 5 V DC, max.	40 mA	100 mA	100 mA	200 mA	190 mA	40 mA
•Power dissipation, typical	6.8 W	8.6 W	8.6 W	8.6 W	25 W	3.2 W
Connection system						
•Requisite front connector	20-pin	20-pin	40-pin	20-pin	20-pin	20-pin

Overview



- Analog inputs
- For connection of voltage and current sensors, thermocouples, resistors and resistance thermometers

Technical specifications

	6ES7 331-7KF02-0AB0	6ES7 331-7HF01-0AB0	6ES7 331-1KF01-0AB0	6ES7 331-7KB02-0AB0
Voltages and currents				
Load voltage L+				
- Rated value (DC)	24 V	24 V		24 V
- Reverse polarity protection	Yes	Yes		Yes
Current consumption				
•from load voltage L+ (no load), max.	200 mA	50 mA		80 mA
•from backplane bus 5 V DC, max.	50 mA	60 mA	90 mA	50 mA
•Power dissipation, typical	1 W	1.5 W	0.4 W	1.3 W
Connection system				
•Requisite front connector	20-pin	20-pin	40-pin	20-pin
Clock synchronism				
•Clock synchronous operation	No	Yes	No	No
Analog inputs				
•Number of analog inputs	8	8	8	2
•Number of analog inputs for resistance measurement	4		8	1
•Length of cable shielded, max.	200 m; 50 m at 80 mV and thermocouples	200 m	200 m; max. 50 m at 50 mV	200 m; 50 m at 80 mV and thermocouples
•Permissible input voltage for the voltage input (destruction limit), max.	20 V; permanent; 75 V for max. 1s (pulse duty ratio 1:20)	20 V; 20 V permanent, 75 V for max. 1 s (pulse duty ratio 1:20)	30 V; 12 V continuous, 30 V for max. 1 s	20 V; permanent; 75 V for max. 1s (pulse duty ratio 1:20)
•Permissible input current for the current input (destruction limit), max.	40 mA	40 mA	40 mA	40 mA
Input ranges (rated values), voltages				
- 0 to +10 V			Yes	
- 1 to +5 V	Yes	Yes	Yes	Yes
- 1 to +10 V		Yes	No	
- -1 V to +1 V	Yes	Yes	Yes	Yes
- -10 V to +10 V	Yes	Yes	Yes	Yes
- -2.5 V to +2.5 V	Yes		No	Yes
- -250 mV to +250 mV	Yes		No	Yes
- -5 V to +5 V	Yes	Yes	Yes	Yes
- -50 mV to +50 mV			Yes	
- -500 mV to +500 mV	Yes		Yes	Yes
- -80 mV to +80 mV	Yes			Yes

SIMATIC S7-300

Analog modules

SM 331 analog input modules

Technical specifications (continued)

	6ES7 331-7KF02-0AB0	6ES7 331-7HF01-0AB0	6ES7 331-1KF01-0AB0	6ES7 331-7KB02-0AB0
Analog inputs (continued)				
Input ranges (rated values), currents				
- 0 to 20 mA	Yes	Yes	Yes	Yes
- -10 to +10 mA	Yes			Yes
- -20 to +20 mA	Yes	Yes	Yes	Yes
- -3.2 to +3.2 mA	Yes			Yes
- 4 to 20 mA	Yes	Yes	Yes	Yes
Input ranges (rated values), thermocouples				
- Type E	Yes			Yes
- Type J	Yes			Yes
- Type K	Yes			Yes
- Type N	Yes			Yes
Input ranges (rated values), resistances				
- 0 to 150 ohms	Yes			Yes
- 0 to 300 ohms	Yes			Yes
- 0 to 600 ohms	Yes		Yes	Yes
- 0 to 6000 ohms			Yes	
Input ranges (rated values), resistance thermometer				
- Ni 100	Yes; Standard		Yes; Standard/climate	Yes
- LG-Ni 1000			Yes; Standard/climate	
- Pt 100	Yes; Standard		Yes; Standard/climate	Yes
Characteristic curve linearization				
- parameterizable	Yes		Yes	Yes
- for thermocouples	Type N, E, J, K, L			Type N, E, J, K, L
- for resistance thermometer	Pt 100 (standard range, climatic range), Ni 100 (standard range, climatic range)		yes; Pt100 standard/climatic; Ni100 standard/climatic; Ni1000 standard/climatic; LG-Ni1000 standard/climatic	Pt 100 (standard range, climatic range), Ni 100 (standard range, climatic range)
Temperature compensation				
- parameterizable	Yes			Yes
- external temperature compensation with compensating box possible	Yes			Yes
- internal temperature compensation possible	Yes			Yes
Analog value formation				
•Measuring principle	integrating	Conversion of instantaneous values	integrating	integrating
Integration and conversion time/triggering per channel				
- with over-range (bits incl. sign), max.	15 Bit; unipolar: 9 / 12 / 12 / 14 bits, bipolar: 9 + VZ/12 + VZ/12 + VZ/14 + VZ bits	14 Bit; unipolar: 14 bits; bipolar: 13+VZ bits	13 Bit	15 Bit; unipolar: 9 / 12 / 12 / 14 bits, bipolar: 9 + VZ/12 + VZ/12 + VZ/14 + VZ bits
- Integration time parameterizable	Yes; 2.5 / 16.67 / 20 / 100 ms	Yes	Yes; 60 / 50 ms	Yes; 2.5 / 16.67 / 20 / 100 ms
- Basic conversion time incl. integration time, ms	3/ 17/ 22/ 102 ms		66 / 55 ms	6/ 34/ 44/ 204 ms
- Basic conversion time, ms		52 µs per channel	66 / 55 ms	
- Interference voltage suppression for interference frequency f1 in Hz	400 / 60 / 50 / 10 Hz	400 / 60 / 50 / 10 Hz	50 / 60 Hz	400 / 60 / 50 / 10 Hz

Technical specifications (continued)

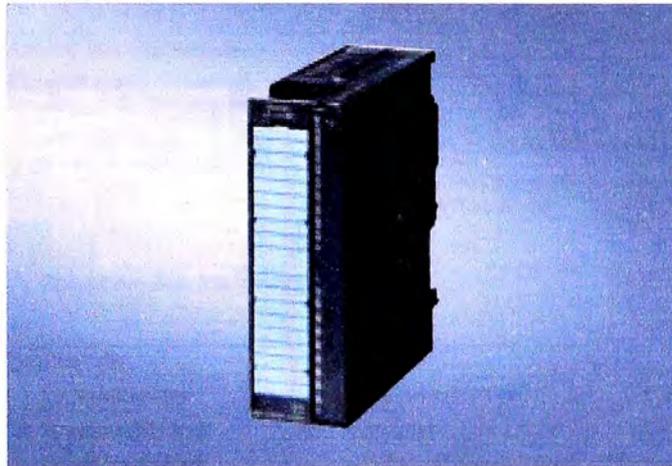
	6ES7 331-7KF02-0AB0	6ES7 331-7HF01-0AB0	6ES7 331-1KF01-0AB0	6ES7 331-7KB02-0AB0
Sensor				
Sensing element connection				
- for current measurement, as 2-wire measuring transducer	Yes	Yes	Yes; with extreme power supply	Yes
- for current measurement, as 4-wire measuring transducer	Yes	Yes	Yes	Yes
- for resistance measurement, with 2-wire connection	Yes		Yes	Yes
- for resistance measurement, with 3-wire connection	Yes		Yes	Yes
- for resistance measurement, with 4-wire connection	Yes		Yes	Yes
Error/accuracies				
Operational limit in the entire temperature range				
- relative to the input range, voltage	+/- 1 %; +/-1% (80 mV), +/-0.6% (250-1000 mV), +/-0.8% (2.5-10 mV)	+/- 0.4 %	+/- 0.6 %; +/-0.6% (+/-5V,10V,1-5V,0-10V; +/-0.5% (+/-50mV,500mV,1V	+/- 1 %; +/-1% (80mV), +/- 0.6% (250-1000mV), +/- 0.8% (2.5-10V)
- relative to the input range, current	+/- 0.7 %; from 3.2 - 20mA	+/- 0.3 %	+/- 0.5 %; +/-20mA,0-20mA,4-20mA	+/- 0.7 %; from 3.2 to 20mA
- relative to the input range, resistance	+/- 0.7 %; 50, 300, 600 ohms		+/- 0.5 %; 0-6kOhms, 0-600kOhms	+/- 0.7 %; 150, 300, 600 ohms
- relative to the input range, resistance thermometer	+/- 0.7 %; +/-0.7% (Pt100/ Ni100) +/-0.8% (Pt100 climat)		1 Kelvin (Pt100,Ni100,climatic; Ni1000,LG-Ni1000,standard; Ni1000,LG-Ni1000,climatic); 1.2 Kelvin (Pt100,Ni100, standard)	+/- 0.7 %; +/-0.7% (Pt100/ Ni100) +/-0.8% (Pt100 climat)
Basic error limit (operational limit at 25 °C)				
- relative to the input range, voltage	+/- 0.6 %; +/-0.4% (250-1000mV) +/-0.6% (2.5-10mV) +/-0.7% (80mV)	+/- 0.25 %	+/- 0.4 %; 0.4% (+/-5V,10V,1-5V,0-10V); 0.3% (+/ 50mV,500mV,1V)	+/- 0.6 %; +/-0.6% (80mV, 2.5-10V) +/-0.4% (250-1000mV)
- relative to the input range, current	+/- 0.5 %; 3.2-20 mA	+/- 0.2 %	+/- 0.3 %; +/-20mA, 0-20mA, 4-20mA	+/- 0.5 %; 3.2-20 mA
- relative to the input range, resistance	+/- 0.5 %; 150, 300, 600 ohms		+/- 0.3 %; 0-6kOhms,0-600kOhms	+/- 0.5 %; 1 50, 300, 600 ohms
- relative to the input range, resistance thermometer	+/- 0.6 %; +/-0.5% (Pt100/ Ni100) +/-0.6% (Pt100 climatic)		1 Kelvin (Pt100,Ni100,standard) 0.8 Kelvin (Pt100,Ni100,climatic; Ni1000,LG-Ni1000, standard; Ni1000, LG-Ni1000,climatic)	+/- 0.6 %; +/-0.5% (Pt100/ Ni100) +/-0.6% (Pt100 climatic)
Status information/ interrupts/ diagnostics				
Interrupts				
- Diagnostic interrupt	Yes; parameterizable channels 0 and 2	Yes; parameterizable	No	Yes
- Limit value interrupt	Yes; parameterizable	Yes; parameterizable channels 0 and 2	No	Yes; parameterizable; channel 0
Diagnostics				
- Diagnostic information can be read out	Yes	Yes	No	Yes

SIMATIC S7-300

Analog modules

SM 332 analog output modules

Overview



- Analog outputs
- For the connection of analog actuators

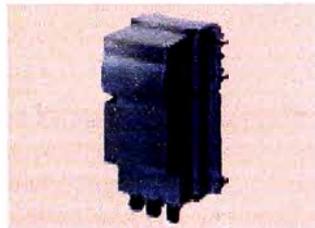
Technical specifications

	6ES7 332-5HB01-0AB0	6ES7 332-5HD01-0AB0	6ES7 332-5HF00-0AB0	6ES7 332-7ND01-0AB0
Voltages and currents				
Load voltage L+				
- Rated value (DC)	24 V	24 V	24 V	24 V
Current consumption				
•from load voltage L+ (no load), max.	135 mA	240 mA	340 mA	240 mA
•from backplane bus 5 V DC, max.	60 mA	60 mA	100 mA	100 mA
•Power dissipation, typical	3 W	3 W	6 W	3 W
Connection system				
•Requisite front connector	20-pin	20-pin	40-pin	20-pin
Analog outputs				
•Number of analog outputs	2	4	8	4; isochrone mode
•Length of cable shielded, max.	200 m	200 m	200 m	200 m
•Voltage output, short-circuit protection	Yes	Yes	Yes	Yes
•Voltage output, short-circuit current, max.	25 mA	25 mA	25 mA	40 mA
•Current output, open-circuit voltage, max.	18 V	18 V	18 V	18 V
Output ranges, voltage				
- 0 to 10 V	Yes	Yes	Yes	Yes
- 1 to 5 V	Yes	Yes	Yes	Yes
- -10 to +10 V	Yes	Yes	Yes	Yes
Output ranges, current				
- 0 to 20 mA	Yes	Yes	Yes	Yes
- -20 to +20 mA	Yes	Yes	Yes	Yes
- 4 to 20 mA	Yes	Yes	Yes	Yes
Burden resistance (in the nominal output range)				
- at voltage outputs, min.	1 k Ω	1 k Ω	1 k Ω	1 k Ω
- at voltage outputs, capacitive load, max.	1 μ F	1 μ F	1 μ F	1 μ F
- at current outputs, max.	500 Ω	500 Ω	500 Ω	500 Ω
- at current outputs, inductive load, max.	10 mH	10 mH	10 mH	1 mH

Technical specifications (continued)

	6ES7 332-5HB01-0AB0	6ES7 332-5HD01-0AB0	6ES7 332-5HF00-0AB0	6ES7 332-7ND01-0AB0
Analog value formation				
Integration and conversion time/triggering per channel				
- with over-range (bits incl. sign), max.	12 Bit; +/- 10 V, +/- 20mA, 4 to 20 mA, 1 to 5 V: 11 bits + sign, 0 to 10 V, 0 to 20 mA: 12 bits	12 Bit; +/- 10 V, +/- 20mA, 4 to 20 mA, 1 to 5 V: 11 bits + sign, 0 to 10 V, 0 to 20 mA: 12 bits	12 Bit; +/- 10 V, +/- 20mA, 4 to 20 mA, 1 to 5 V: 11 bits + sign, 0 to 10 V, 0 to 20 mA: 12 bits	16 Bit; +/-10V(16 bits); 0-10V(15 bits); 1-5V(14 bits); +/-20mA(15 bits); 0-20mA(14 bits); 4-20mA(14 bits)
- Conversion time (per channel)	0.8 ms	0.8 ms	0.8 ms	0.8 ms; 0.8ms (standard mode); 1.6ms (clocked mode)
Setting time				
- for resistive load	0.2 ms	0.2 ms	0.2 ms	0.2 ms
- for capacitive load	3.3 ms	3.3 ms	3.3 ms	3.3 ms
- for inductive load	0.5 ms; 0.5 ms(1mH); 3.3ms(10mH)	0.5 ms; 0.5ms (1mH); 3.3ms (10mH)	0.5 ms; 0.5ms (1mH); 3.3ms (10mH)	0.5 ms; 0.5ms (1mH); 3.3ms (10mH)
Error/accuracies				
Operational limit in the entire temperature range				
- Relative to the output range, voltage	+/- 0.5 %	+/- 0.5 %	+/- 0.5 %	+/- 0.12 %
- Relative to the output range, current	+/- 0.6 %	+/- 0.6 %	+/- 0.6 %	+/- 0.18 %
Basic error limit (operational limit at 25 °C)				
- relative to the output range, voltage	+/- 0.4 %	+/- 0.4 %	+/- 0.4 %	+/- 0.02 %; +/-10V(+/-0.02%); 0-10V(+/-0.02%); 1-5V(+/-0.04%)
- relative to the output range, current	+/- 0.5 %	+/- 0.5 %	+/- 0.5 %	+/- 0.02 %; +/-20mA(+/-0.02%); 0-20mA(+/-0.02%); 4-20mA(+/-0.04%)
Status information/ interrupts/ diagnostics				
•Applying substitute values	Yes; parameterizable	Yes; parameterizable	Yes; parameterizable	Yes; parameterizable
Interrupts				
- Diagnostic interrupt	Yes; parameterizable	Yes; parameterizable	Yes; parameterizable	Yes; parameterizable
Diagnostics				
- Diagnostic information can be read out	Yes	Yes	Yes	Yes
Insulation				
•Insulation tested with	500 V DC	500 V DC	500 V DC	500 V DC
Potentials/ electrical isolation				
Analog output functions				
- between the channels and the backplane bus	Yes	Yes	Yes	Yes
Dimensions and weight				
•Weight, approx.	220 g	220 g	272 g	220 g
•Width	40 mm	40 mm	40 mm	40 mm
•Height	125 mm	125 mm	125 mm	125 mm
•Depth	120 mm	120 mm	120 mm	120 mm

La variante IP65



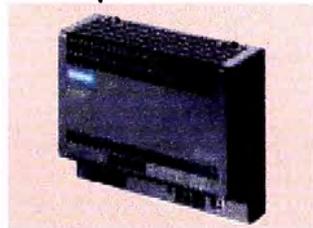
Fuente en protección IP65, óptimamente adaptada en diseño y funcionalidad a la unidad periférica descentralizada ET 200X. Si se aplica sin una ET 200X se requiere el accesorio: tapa de conector.

El tipo S7-300



La fuente de alimentación probada con diseño SIMATIC S7-300; a elección, con peine de unión fuente-CPU y fijación sobre perfil soporte S7 o sin peine de unión fuente-CPU y fijación via adaptador de montaje sobre perfil DIN EN 50022-35x15.

La extraplana



La extraplana ideal para aplicaciones con poco espacio disponible, p. ej. en periferia descentralizada, en bancadas de máquinas o nichos; diseño adaptado a la SIMATIC ET 200B.

La universal



La fuente de alimentación universal, con entrada de rango amplio 93 a 264 V AC y 110 a 350 V DC para conexión a todas las redes habituales.

10 A	10 A	10 A	10 A
6EP1 334-2CA00	6ES7 307-1KA01-0AA0 / 6EP1 334-1SL12	6EP1 334-1AL12	6EP1 334-1SH01
monofásica AC 120/230 V AC ajuste por puente de hilo 93 a 132/187 a 264 V AC	monofásica AC 120/230 V AC ajuste por conmutador integrado 85 a 132/170 a 264 V AC	monofásica AC 120/230 V AC ajuste por conmutador integrado 85 a 132/170 a 264 V AC	monofásica AC 120-230 V AC entrada de rango amplio 93 a 264 V AC ó 110 a 350 V DC
2,3 x U _{e nom.} , 1,3 ms > 20 ms con U _e = 93/187 V 50/60 Hz, 47 a 63 Hz 4,3/2,6 A < 65 A, t _{tp.} 3 ms	2,3 x U _{e nom.} , 1,3 ms > 20 ms con U _e = 93/187 V 50/60 Hz; 47 a 63 Hz 4,1/1,8 A < 55 A, < 3 ms	2,3 x U _{e nom.} , 1,3 ms > 20 ms con U _e = 93/187 V 50/60 Hz, 47 a 63 Hz 4/2,5 A < 65 A, < 3 ms	2,3 x U _{e nom.} , 1,3 ms > 20 ms con U _e = 93/187 V 0/50/60 Hz, 47 a 63 Hz 2,5-1,3 A < 20 A, < 3 ms
< 2,5 A ² s 6,3 A/250 V, lento (no accesible) a partir de 16 A, característica C	< 3,3 A ² s 6,3 A/250 V, lento (no accesible) a partir de 10 A, característica C	< 3,3 A ² s 6,3 A/250 V, lento (no accesible) a partir de 10 A, característica C	< 1,5 A ² s 6,3 A, lento (no accesible) a partir de 16 A, característica C
tensión continua estabilizada y aislada galvánicamente 24 V DC ± 3 % aprox. 0,2 % aprox. 1 % < 150 mV _{pp} < 240 mV _{pp} 22,8 a 25,2 V LED verde para 24 V O.K. No hay rebase transitorio de U _s (arranque suave) < 3 s/t _{tp.} 80 ms	tensión continua estabilizada y aislada galvánicamente 24 V DC ± 3 % aprox. 0,1 % aprox. 0,5 % < 150 mV _{pp} (t _{tp.} 40 mV _{pp}) < 240 mV _{pp} (t _{tp.} 100 mV _{pp}) - LED verde para 24 V O.K. No hay rebase transitorio de U _s (arranque suave) < 1,5 s/t _{tp.} 80 ms	tensión continua estabilizada y aislada galvánicamente 24 V DC ± 1 % aprox. 0,1 % aprox. 0,5 % < 150 mV _{pp} (t _{tp.} 50 mV _{pp}) < 240 mV _{pp} (t _{tp.} 200 mV _{pp}) 22-29 V LED verde para 24 V O.K. No hay rebase transitorio de U _s (arranque suave) < 2 s/t _{tp.} 40 ms	tensión continua estabilizada y aislada galvánicamente 24 V DC ± 1 % < ± 0,1 % < ± 0,2 % < 100 mV _{pp} < 100 mV _{pp} - LED verde para 24 V O.K. No hay rebase transitorio de U _s (arranque suave) < 3 s/t _{tp.} 100 ms
10 A 0 a 10 A (hasta +40 °C) 0 a 8 A (hasta +55 °C)	10 A 0 a 10 A 0 a 10 A	10 A 0 a 10 A 0 a 10 A	10 A 0 a 10 A 0 a 10 A
- t _{tp.} 38 A durante 200 ms sí, 2 fuentes	t _{tp.} 35 A durante 80 ms t _{tp.} 35 A durante 150 ms no permitido	t _{tp.} 35 A durante 700 ms t _{tp.} 35 A durante 700 ms sí, 2 fuentes	Intensidad constante, aprox. 11 A Intensidad constante, aprox. 11 A sí, 2 fuentes

Continuación ver página 5/5.

SIMATIC ET 200M

The multi-channel S7-300 I/O

The ET 200M distributed I/O station is a modularly configured DP slave with the IP20 degree of protection. Up to 8 multi-channel signal modules (e.g. 32 digital inputs) and function modules as well as communication processors of the S7-300 can be used as I/O modules.

There are no slot rules. If active bus modules are used, modules can be replaced and expanded during operation (hot swapping).

Connection to PROFIBUS DP is achieved using interface modules – optionally also using fiber optic cables.

In addition to screw-type and spring-loaded terminals, signals can also be connected quickly and easily with SIMATIC TOP connect. Pre-assembled front connectors with single cores and a complete plug-in building block system are available.

When the ET 200M is operated with an S7-400H/FH, the availability of the plant can be increased:

- Switched connection:
An ET 200M with two interface modules
- Redundant connection:
Two ET 200M systems each with one interface module

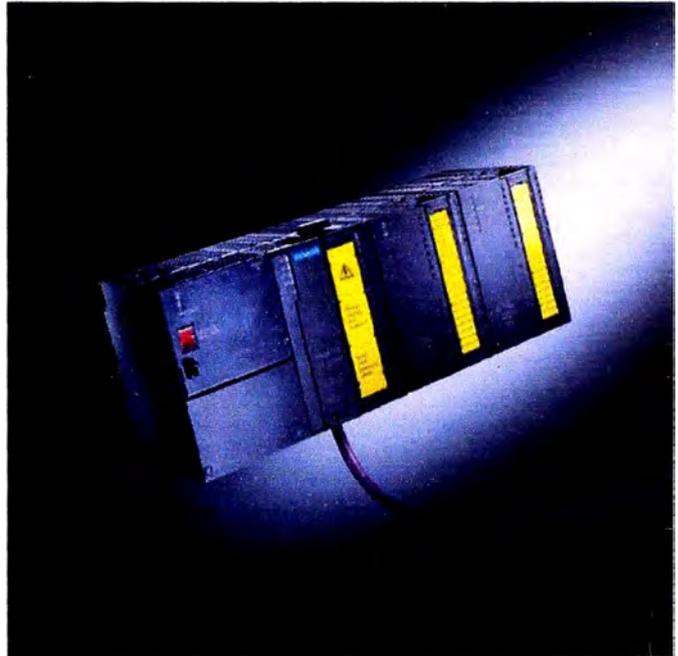
When the ET 200M is connected to an S7-400, the PLC can be configured during normal operation (Configuration in RUN - CiR).

In this manner,

- complete ET 200M I/O stations can be added,
- modules can be supplemented and
- digital and analog modules can be reparameterized.

Signal modules can be replaced during normal operation so that standstill times can be reduced (hot swapping).

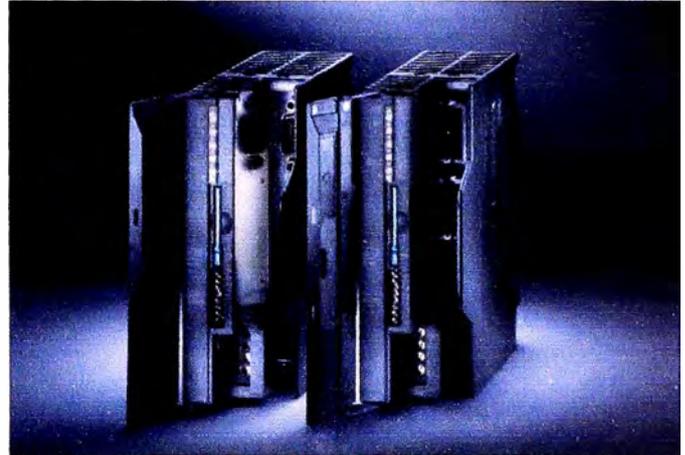
Failsafe I/O modules are used for inputs and outputs in safety-related plants with SIMATIC Safety Integrated.



Interface modules for PROFIBUS



Various different IM 153 interface modules are available as standard DP slaves for connecting the different S7-300 modules in the ET 200M distributed I/O station to PROFIBUS DP.



	IM 153-1	IM 153-2 HF	IM 153-2 HF FO
Transmission medium	Copper	Copper	Fiber optic
Time synchronization on PROFIBUS, time stamping of alarms ¹⁾	–	■	■
Use of function modules (FM) and communication processors (CP)	Restricted	■	■
Routing of parameterization data to intelligent field devices	–	■ (HART, IQ-Sense)	■ (HART, IQ-Sense)
Connection to high-availability (redundant) systems (software redundancy, S7-400H)	–	■	■
Configuration changes in RUN ²⁾	–	■	■
In the redundant system	–	■	■
In the non-redundant system	–	■	■
Support of failsafety	–	■	■
Support of isochronous mode ³⁾	–	■	–
Identification data ⁴⁾	–	■	■
Firmware update over the bus	–	■	■
Order No. group	6ES7 153-1AA.	6ES7 153-2BA.	6ES7 153-2BB.

¹⁾ Changes to digital inputs are tagged with a time stamp locally (in the IM 153 of the ET 200M) and transferred to the CPU by means of a process interrupt.

²⁾ Changing the configuration in RUN means that changes to the hardware configuration, e.g. reparameterization or the addition of modules, can be performed during normal operation without any adverse effects.

³⁾ Isochronous mode is the synchronized coupling of distributed I/O and the user program on PROFIBUS with a constant cycle time. In this manner, actual value sensing and setpoint output are performed synchronously and with a constant cycle time and with consistent data images.

⁴⁾ The identification data are the data stored in a module such as the Order No., release date, installation date or plant ID-code that uniquely identify this module and which are available online, for example, to simplify fault rectification.