

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA



“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO DE CONTROL DE MOTORES PARA LA OPERACIÓN DE UN CLARIFICADOR KROFTA DE 264000 L/H”

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

JHUL CÉSAR OCHOA ESPINOZA

PROMOCIÓN 2010-II

LIMA-PERÚ

2014

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
PROLOGO	1
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 Antecedentes	4
1.2 Objetivo Principal	5
1.3 Objetivos Secundarios	5
1.4 Justificación	6
1.5 Alcance	6
1.6 Recursos empleados	6
2. DESCRIPCIÓN DEL CLARIFICADOR KROFTA	8
2.1 Principios de funcionamiento del sistema de clarificación Krofta	8
2.2 Operación del clarificador Krofta	9
2.3 Sistema de bombeo y control de flujo del clarificador Krofta	12
3. FUNDAMENTO TEÓRICO	13
3.1 Sistemas de arranque de motores	13
3.1.1 Arranque Directo	14
3.1.2 Arranque estrella – triángulo	16
3.1.3 Arranque estatórico por resistencias	20
3.1.4 Arranque por autotransformador	22

3.1.5	Arranque de los motores de rotor bobinado	24
3.1.6	Arranque electrónico	27
3.2	Variador de frecuencia	29
3.2.1	Principio de Funcionamiento	29
3.2.2	Descripción del VFD	30
3.3	Dispositivos de protección eléctrica	33
3.3.1	Protección contra cortocircuitos	33
3.3.1.1	Fusibles	34
3.3.1.2	Interruptores automáticos magnetotérmicos	35
3.3.2	Protección contra sobrecargas	37
3.3.3	Protección contra electrocución	39
4.	IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES	43
4.1	Especificaciones del sistema por parte del cliente	43
4.2	Sistema de bombeo y control de flujo del clarificador Krofta	44
4.3	Identificación de los dispositivos a ser controlados	48
4.4	Selección preliminar de componentes principales	51
4.4.1	Selección de Drives	52
4.4.2	Selección de Interruptores	55
4.4.3	Selección de PLC	58
4.5	Identificación de las necesidades de protección del Centro de Control de Motores	59
5.	DISEÑO DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES	61

5.1	Diseño eléctrico	61
5.1.1	Arquitectura del sistema	64
5.1.2	Diseño de los circuitos de alimentación de potencia	66
5.1.3	Diseño de los circuitos de arranque de motores	68
5.1.3.1	Arranque Directo	68
5.1.3.2	Arranque por Soft Starter	71
5.1.3.3	Arranque por Variador de Frecuencia	73
5.1.3.4	Cargas Adicionales	75
5.1.4	Diseño de los circuitos de conexionado de módulos inteligentes	76
5.2	Diseño mecánico	86
5.2.1	Distribución de los componentes eléctricos en gabinetes metálicos	86
5.2.2	Diseño de los gabinetes metálicos	88
6.	IMPLEMENTACIÓN DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES	93
6.1	Fabricación de los gabinetes metálicos	93
6.2	Montaje de los componentes eléctricos del CCM en el gabinete metálico	97
6.3	Programación del CCM	105
6.3.1	Programación del PLC	105
6.3.1.1	Motores	105
6.3.1.2	Válvulas	107
6.3.1.3	Variadores de frecuencia	107
6.3.2	Programación del HMI	108

6.4 Pruebas de funcionamiento del Centro de Control de Motores	108
6.4.1 Pruebas FAT	109
6.4.2 Pruebas SAT	110
6.5 Condiciones de embalaje y empaquetamiento del CCM	110
7. ANÁLISIS DE TIEMPO Y COSTOS DEL PROYECTO	111
7.1 Análisis de tiempos del proyecto	111
7.2 Análisis de costos del proyecto	114
CONCLUSIONES	120
RECOMENDACIONES	122
BIBLIOGRAFIA	123
ANEXO: MATRIZ DE MEDIOS - FINES	124

INDICE DE GRÁFICOS

Figura 2.1. Esquemático del clarificador Krofta.....	10
Figura 2.2. Representación esquemática del ADT.....	11
Figura 2.3. Esquema simplificado del sistema de bombeo.....	12
Figura 3.1. Esquema de arranque directo.....	16
Figura 3.2. Esquema de arranque estrella – triángulo.....	19
Figura 3.3. Esquema de arranque estático por resistencias.....	22
Figura 3.4. Esquema de arranque por autotransformador.....	25
Figura 3.5. Esquema de arranque de los motores de rotor bobinado.....	26
Figura 3.6. Esquema de arranque por arrancador electrónico.....	28
Figura 3.7. Diagrama de un sistema VFD.....	29
Figura 3.8. Relación par/velocidad para un motor controlado por VFD.....	31
Figura 3.9. Diagrama de VFD con PWM.....	32
Figura 3.10. Fundamento de funcionamiento del fusible.....	34
Figura 3.11. Interruptor magnetotérmico.....	36
Figura 3.12. Funcionamiento y conexión de un interruptor diferencial.....	41
Figura 4.1. Diagrama principal del sistema de bombeo del clarificador Krofta.....	45
Figura 4.2. Diagrama complementario 1 del sistema de bombeo del clarificador.....	46
Figura 4.3. Diagrama complementario 2 del sistema de bombeo del clarificador.....	47
Figura 4.4. Lista de señales provista por el cliente.....	50
Figura 4.5. Arrancador suave SIRIUS 3RW 40.....	53
Figura 4.6. Inversor Standard G120.....	54
Figura 4.7. Interruptores Automáticos de Caja Moldeada SENTRON 3WL.....	56
Figura 4.8. Guardamotores SIRIUS 3RV.....	56
Figura 4.8. SIMATIC S7-300.....	59

Figura 4.9. Tabla de Grados de Protección IP	60
Figura 5.1. Mini Interruptor automático de propósito general 5SX2.....	62
Figura 5.2. Bomeras SIEMENS 8WA1 y Phoenix Contact UKK.....	63
Figura 5.3. Arquitectura del sistema.....	65
Figura 5.4. Circuito de alimentación de potencia.....	66
Figura 5.5. Capacidad de barras de cobre	67
Figura 5.6. Circuito de mando y fuerza para arranque directo.....	69
Figura 5.7. Circuito de mando y fuerza para arranque por Soft Starter	72
Figura 5.8. Circuito de Arranque por Variador de Frecuencia	74
Figura 5.9. Conexión Fuente, CPU y Módulo de comunicación extendida	80
Figura 5.10. Conexión Módulos de entrada y salida digital propias de la CPU.....	81
Figura 5.11. Conexión de Módulo de Entradas Digitales.....	82
Figura 5.12. Conexión Módulo de Salidas Digitales	83
Figura 5.13. Conexión Módulo de Entradas Analógicas.....	84
Figura 5.14. Conexión Módulo de Salidas Analógicas	85
Figura 5.15. Distribución de los componentes eléctricos en los gabinetes.....	87
Figura 5.16. Vista frontal del CCM a puertas cerradas.....	89
Figura 5.17. Modelo 3D del gabinete metálico	90
Figura 5.18. Estructura base de los gabinetes	91
Figura 6.1. Trupunch 1000.....	94
Figura 6.2. Muestra de programa de punzonado	94
Figura 6.3 Trubend 5130	95
Figura 6.4. Ejemplo de plegado de una puerta del gabinete	95
Figura 6.5. Guardamotores montados	98
Figura 6.6. Bomeras en pleno montaje	98
Figura 6.7. Variadores de velocidad y soft	99

Figura 6.8. Variador de Velocidad y Soft Starters	99
Figura 6.9. Etapa de arranque directo.....	100
Figura 6.10. Etapa de Distribución de Fuerza	101
Figura 6.11. Etapa de Variadores de Frecuencia y Soft Starters.....	102
Figura 6.12. Etapa de control automático.....	103
Figura 6.13 CCM completo	104
Figura 6.14. Pantallas de control HMI	108
Figura 7.1. Cronograma del Proyecto (1/2).....	112
Figura 7.2. Cronograma del Proyecto (2/2).....	113
Figura 7.3. Distribución de Costos del proyecto	116

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Motores a ser controlados.....	48
Tabla 4.2. Resumen de motores.....	49
Tabla 4.3. Salidas de alimentación	49
Tabla 4.4. Especificación de alimentación de equipos principales	51
Tabla 4.5. Selección de interruptores para equipos principales	57
Tabla 5.1. Resumen de entradas y salidas	77
Tabla 5.2. Componentes del PLC	79
Tabla 7.1. Estructura de costos del proyecto	114
Tabla 7.2. Clasificación de costos por componentes tangibles	115
Tabla 7.3. Análisis económico resumido.....	117

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor incondicional.

A mi padre.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor incondicional.

AGRADECIMIENTO

A la empresa FAMETAL S.A. y a su staff de ingenieros por la colaboración prestada en el desarrollo de este informe, sin su valioso aporte técnico hubiese sido imposible llegar a buen puerto de forma tan llevadera.

A mi equipo de trabajo del *“Programa de Titulación Profesional – XXI Curso de actualización de conocimientos”* por haber enriquecido mis alcances en la realización de este informe.

A mis hermanos por ser mi motivación constante para seguir abriendo caminos en la vida.

A mi entorno más íntimo de amigos por haberme suministrado la cuota exacta de motivación y presión a fin de culminar con este informe.

PRÓLOGO

Durante mi desempeño profesional en la empresa FAMETAL S.A., empresa líder en la fabricación de tableros eléctricos así como la comercialización y distribución de la más amplia gama de productos, sistemas, soluciones y servicios eléctricos, he logrado adquirir experiencia en la fabricación de tableros eléctricos a medida, de acuerdo a las necesidades del cliente, desde la concepción y diseño hasta la fabricación y entrega de los mismos.

El Informe de Suficiencia desarrollado es resultado de dicha experiencia adquirida y utilizada para el diseño e implementación de un centro de control de motores para un clarificador Krofta de 264 000 litros por hora de capacidad para la empresa Productos Tissue del Perú S.A.

Cada pedido de tableros a medida que se realiza a la empresa es un nuevo desafío debido al alto nivel de especificidad de los mismos y el alto nivel de la competencia de empresas afines al rubro. La especificidad de este tipo de tableros es tan alta que implica combinar diversos tipos de tecnologías y partes de modelos de tableros genéricos ya existentes puesto que la base sobre la que se desarrollan son únicamente los requisitos técnicos básicos del cliente. Este grado de especificidad hace que la satisfacción del cliente corra a cargo del nivel de los profesionales con los que cuenta la empresa, lo cual es un elemento distintivo frente a la competencia, es ahí donde entra a tallar el perfil del Ingeniero

eléctricos, los planos de montaje mecánico y el diseño del gabinete metálico en el que se monta todo el sistema eléctrico. En este apartado adicionalmente se incluye el cálculo de costos y tiempos del sistema.

El Capítulo VI presenta una memoria de la implementación del centro de control de motores, desde el montaje de los gabinetes que lo conforman hasta el montaje electromecánico de todos los componentes del sistema, luego se muestra la programación, pruebas y entrega del Centro de Control de Motores al cliente, siendo ésta la fase final del diseño e implementación del sistema.

En el Capítulo VII, por último, se presenta un resumen del análisis de tiempos y costos del proyecto, en este apartado se analiza qué tan exitoso es desde el punto de vista económico el proyecto.

A través del presente informe espero poder contribuir a los futuros Ingenieros Mecatrónicos una guía sobre el diseño e implementación de tableros eléctricos a medida, en específico tableros del tipo centro de control de motores, ya que al ser tableros a medida la información que se puede encontrar actualmente es bastante limitada y de alcance privado debido a las políticas de confidencialidad de las empresas que se desempeñan en este rubro.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes:

El presente informe de suficiencia ha sido desarrollado teniendo en cuenta los aspectos teóricos y prácticos sobre sistemas de distribución de potencia en baja tensión, arranque de motores, programación de PLC y diseño de estructuras metálicas, los conocimientos básicos de estos campos han sido adquiridos en el marco de la carrera profesional de Ingeniería Mecatrónica.

La empresa FAMETAL S.A. cuenta con 50 años de experiencia en la fabricación de tableros eléctricos de baja tensión en sus diferentes variantes, como son de distribución, banco de condensadores, centro de control de motores, banco de UPS y tableros eléctricos a medida.

La empresa Productos Tissue del Perú S.A. (PROTISA) dentro de su proceso de producción cuenta con una etapa de clarificación de agua residual, la cual opera utilizando clarificadores del tipo Krofta. PROTISA atraviesa una etapa de ampliación de su zona de clarificación, para lo cual instala un nuevo clarificador Krofta de capacidad 264000 litros de agua residual clarificada por hora, este nuevo clarificador no cuenta con un sistema de control.

La empresa PROTISA encargó a FAMETAL S.A. la implementación de una solución al problema de la ausencia de un sistema de control para el nuevo clarificador Krofta que desea poner en operación en forma de un Centro de Control de Motores (CCM), tomando como base el sistema de control ya existente de un clarificador de características similares con el que cuentan en la actualidad. Para dicho fin la empresa PROTISA entregó la información necesaria de operación del clarificador y los requisitos de operación del sistema.

1.2 Objetivo principal:

Diseñar e implementar un Centro de Control de Motores para la operación de un Clarificador Krofta de 26400 l/h que cumpla con las características de operación especificadas por la empresa PROTISA.

1.3 Objetivos secundarios

- Adquirir conocimientos teóricos y prácticos del sistema de control de clarificadores del tipo Krofta.
- Desarrollar la implementación del sistema electromecánico diseñado.
- Cumplir las metas fijadas para la realización del proyecto tanto en tiempo como en costos para asegurar la rentabilidad del mismo.

1.4 Justificación

El proyecto, que tiene carácter técnico – económico, se justifica porque genera ingresos a FAMETAL S.A. y afianza su posición en el mercado electromecánico ofertando soluciones de control y automatización a medida.

1.5 Alcance

- Diseñar e implementar un Centro de Control de Motores para un clarificador Krofta de 264000 litros por hora de capacidad según especificaciones del cliente.
- Entregar los planos de construcción del Centro de Control de Motores.
- Realizar la programación básica del Centro de Control de Motores y entregar las pruebas de funcionamiento en fábrica del mismo.
- Entregar el Centro de Control de Motores correctamente embalado y listo para su transporte.

1.6 Recursos empleados

FAMETAL S.A. emplea los conocimientos de su staff de Ingenieros para la realización del proyecto, los talleres de montaje de la empresa, el centro de manufactura de estructuras metálicas conformado por una máquina de punzonado y otra de doblado ambas CNC, la mano de obra especializada en montaje electromecánico y la adquisición de suministros de fabricación, componentes y componentes eléctricos.

Se han utilizado los siguientes programas en la realización del proyecto: Solidworks, Autocad, Eplan, la suite de Office de Microsoft y la plataforma TRUMPF para las dos máquinas CNC.

CAPITULO 2

DESCRIPCIÓN DEL CLARIFICADOR KROFTA

2.1 Principio de funcionamiento del sistema de clarificación Krofta

Flotación es un término generalmente usado en el tratamiento de agua residual para describir una familia de métodos usados para separar partículas de un líquido. El proceso general involucra la flotación de partículas a la superficie del líquido donde son concentrados y removidos por medios físicos.

El sistema de clarificación Krofta usa el principio de Flotación por Aire Disuelto (*Dissolved Air Flotation DAF*) el cual es un método eficiente de flotación para clarificación de agua, éste principio se refiere al método de producir flotación disolviendo aire en el agua bajo presión y luego liberando la presión. Cuando la presión es liberada la solución se vuelve sobresaturada con aire en forma de millones de pequeñas burbujas. Estas burbujas se adhieren a las partículas en el agua ocasionando que la densidad de estas partículas se vuelva menor que la del agua. Las partículas luego flotan rápidamente a la superficie de recolección y remoción dejando atrás el agua clarificado.

2.2 Operación del clarificador Krofta

En la Figura 2.1 se muestra el esquemático del clarificador Krofta a fin de explicar la operación del mismo.

La entrada y salida del agua, así como el sistema de remoción de los lodos flotados están localizadas en la parte central giratoria del equipo.

El flujo del agua residual llega al equipo a través del tubo distribuidor (manifold), el cual tiene acoplado varios tubos verticales que distribuyen uniformemente el agua a lo ancho de la tina de flotación.

Por este mismo tubo de entrada del agua cruda, se introduce un flujo predeterminado de agua de recirculación que previamente es pasado por el Tubo Dilusor (ADT) patentado por Krofta, que se muestra en la Figura 2.2, en el cual se forman las millones de micro burbujas, que realizaran el proceso físico de llevar a la superficie del tanque de flotación todos los sólidos suspendidos contenidos en el efluente.

Como este manifold está montado sobre el dispositivo de giro (carretón) y por lo tanto se mueve a la misma velocidad, la descarga del agua se realiza a Velocidad CERO (Zero Velocity), evitando cualquier tipo de turbulencia que afecte la eficiencia de remoción de las micro burbujas.

Figura 2.1. Esquemático del clarificador Kroffia

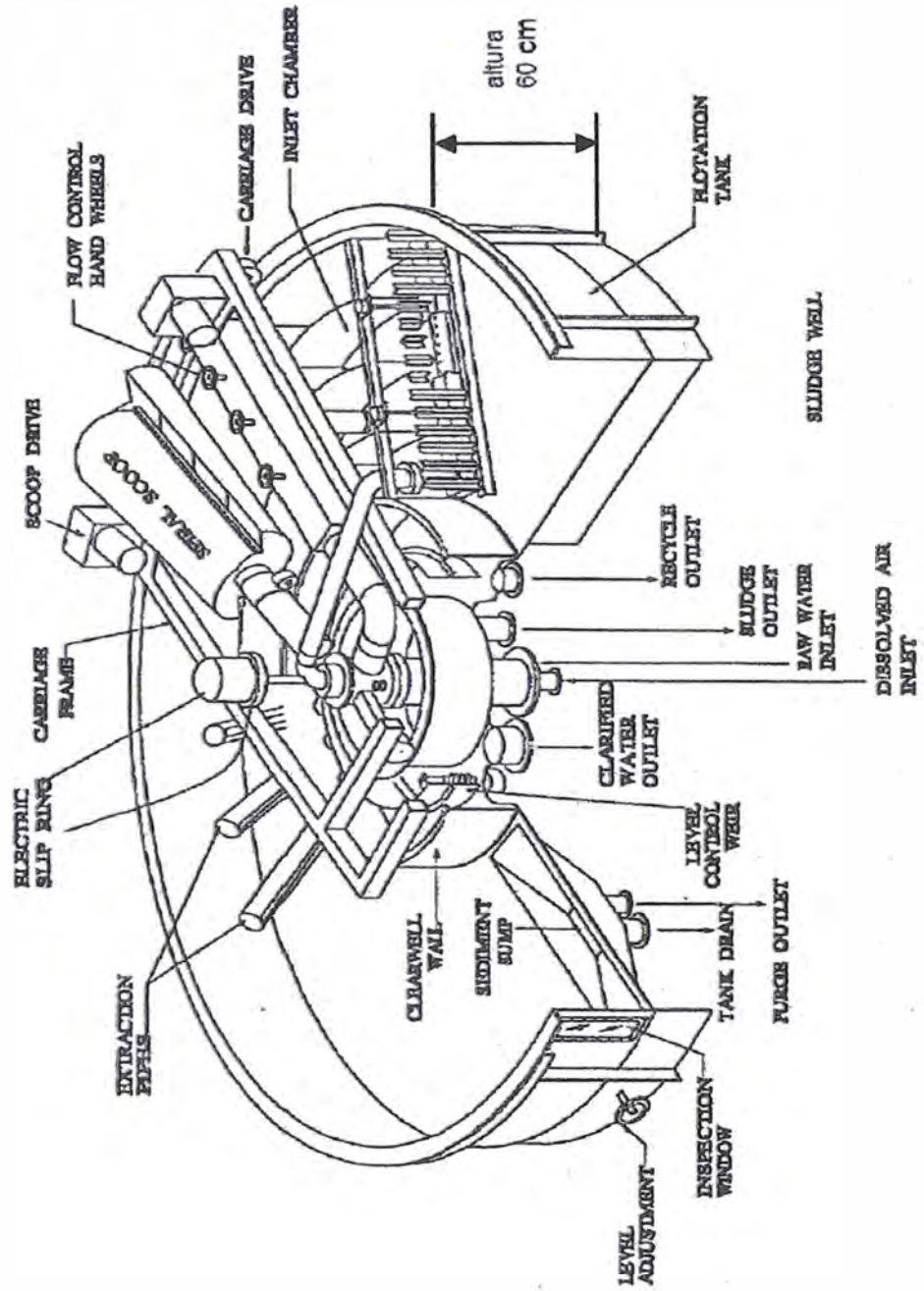
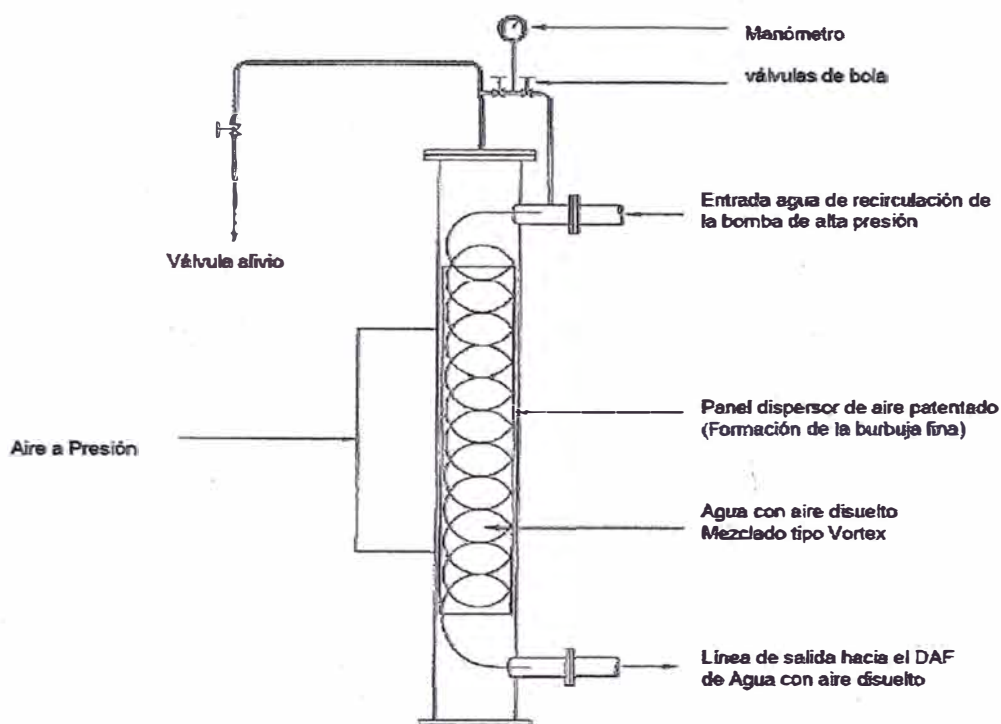


Figura 2.2. Representación esquemática del ADT

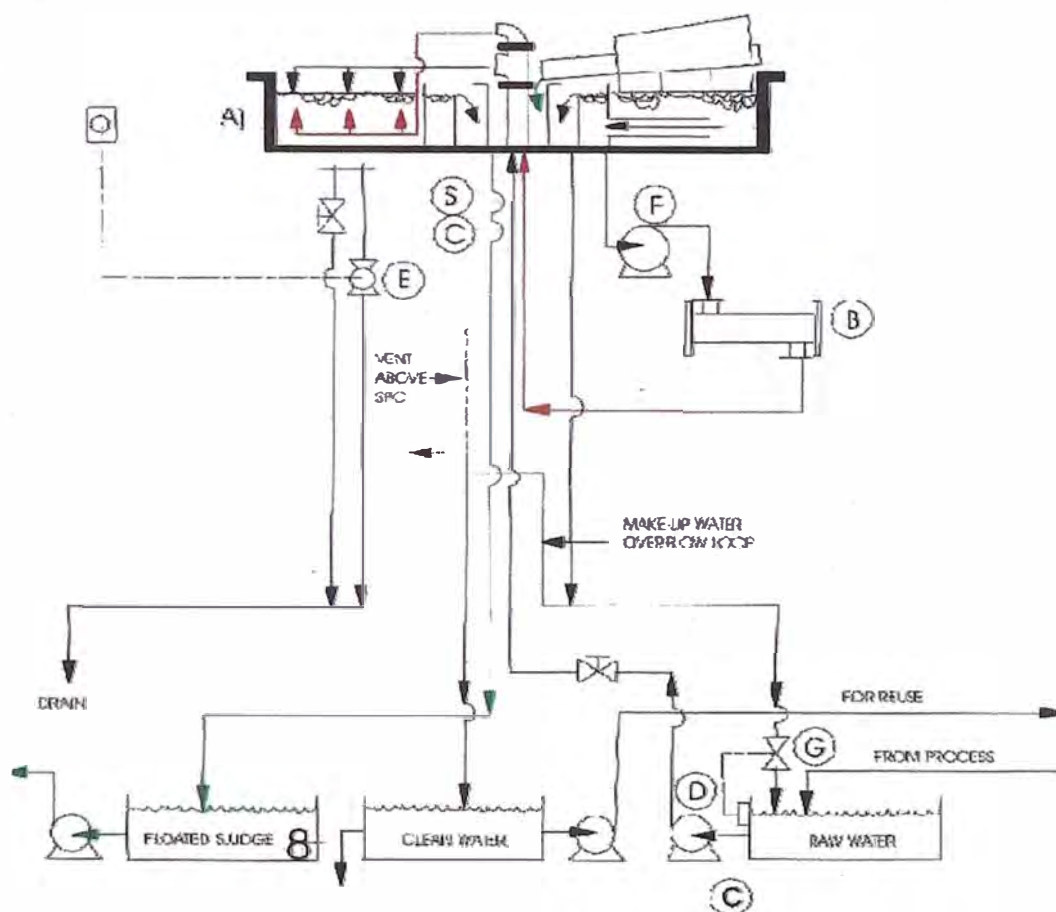


El lodo flotado y concentrado en la parte superior de la tina de flotación, es retirado constantemente por un cucharón tipo tomillo que es otra patente de Krofta. Este cucharón, toma el lodo flotado y lo descarga por la sección central del equipo, en donde se encuentra otra salida bridada para que estos sean descargados por gravedad. El Agua Clarificado se descarga por gravedad por medio de tubos ranurados horizontales que giran junto con el carretón.

2.3 Sistema de bombeo y control de flujo del clarificador Krofta

En la figura 2.3 se muestra el sistema de bombeo y control de flujo básico del clarificador Krofta, en el cual se señalan los componentes más importantes del sistema que son: A) Krofta Supracell, B) Krofta ADT, C) Punto de alimentación química, D) Alimentación de influentes, E) Válvula inferior de purga automática, F) Bomba de presión, G) Arreglo de agua clarificado automático y H) punto de prueba.

Figura 2.3. Esquema simplificado del sistema de bombeo



CAPITULO 3

FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1 Sistemas de arranque de motores

Denominamos arranque al proceso de puesta en marcha de una máquina eléctrica. En el caso de los motores asíncronos, para que esta operación pueda llevarse a cabo, es preciso, que el par de arranque sea superior al par resistente de la carga, de esa forma se obtiene un momento de aceleración que obliga a girar al motor a una velocidad cada vez más elevada, alcanzando el régimen permanente cuando se igualan los pares motor y resistente.

El proceso de arranque va acompañado de un consumo elevado de corriente.

Para reducir las corrientes en el momento de la puesta en marcha de un motor, se emplean métodos especiales de arranque, según que la máquina tenga su rotor en forma de jaula de ardilla o con anillos. Los principales métodos de arranque son los siguientes:

Arranque directo

Arranque estrella – triángulo

Arranque estático por resistencias

Arranque por autotransformador

Arranque de los motores de rotor bobinado

Arranque electrónico

3.1.1 Arranque directo:

La manera más simple de arrancar un motor de jaula de ardilla es conectar el motor directamente a la red.

En el momento de la puesta bajo tensión, el motor actúa como un transformador cuyo secundario, formado por la jaula de poca resistencia del rotor, está en cortocircuito. La corriente inducida en el rotor es importante. La corriente primaria y la secundaria son prácticamente proporcionales.

Se obtiene una punta de corriente importante en la red:

$$I_{arr} = 5 \text{ a } 8 I_n$$

El par de arranque medio es:

$$M_{arr} = 0.5 \text{ a } 1.5 M_n$$

El arranque directo tiene una serie de ventajas:

- Sencillez del equipo
- Elevado par de arranque
- Arranque rápido
- Bajo coste

A pesar de las ventajas que conlleva, sólo es posible utilizarle en los siguientes casos:

- La potencia del motor es débil con respecto a la de la red, para limitar las perturbaciones que provoca la corriente solicitada.
- La máquina accionada no requiere un aumento progresivo de velocidad y dispone de un dispositivo mecánico que impide el arranque brusco.
- El par de arranque debe ser elevado.

Por el contrario, será imprescindible recurrir a algún procedimiento para disminuir la corriente solicitada o el par de arranque, siempre que:

- La caída de tensión provocada por la corriente solicitada puede perturbar el buen funcionamiento de otros aparatos conectados a la misma red.
- La máquina accionada no pueda admitir sacudidas mecánicas.
- La seguridad o la comodidad de los usuarios se vea comprometida.

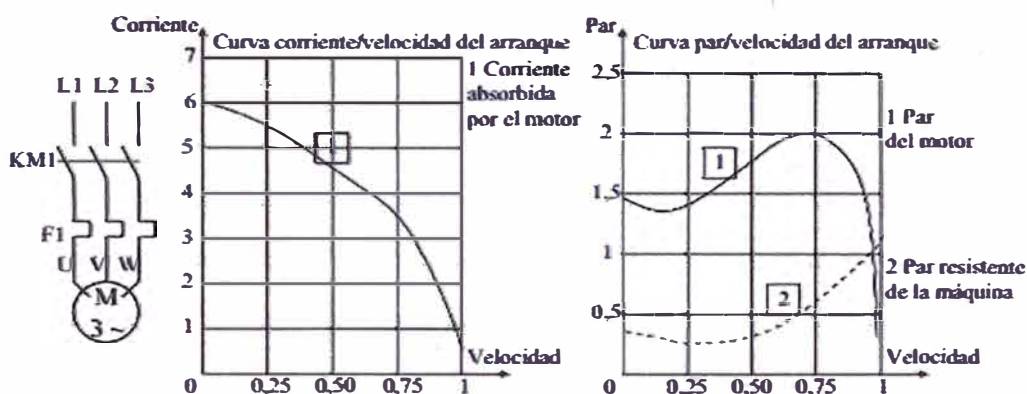
En estos casos, el método más utilizado consiste en arrancar el motor bajo tensión reducida.

La variación de la tensión de alimentación tiene las siguientes consecuencias:

- La corriente de arranque varía proporcionalmente a la tensión de alimentación.
- El par de arranque varía proporcionalmente al cuadrado de la tensión de alimentación

En la Figura 3.1 se muestra el esquema de arranque directo y las curvas de performance correspondientes.

Figura 3.1. Esquema de arranque directo



3.1.2 Arranque estrella-triángulo

Sólo es posible utilizar este método de arranque en motores en los que las dos extremidades de cada uno de los tres devanados estáticos estén conectadas en la placa de bornes. Por otra parte, el bobinado debe realizarse de manera que el acoplamiento en triángulo corresponda con la tensión de la red. En el caso de una red trifásica de 380 V, es preciso utilizar un motor bobinado a 380 V en triángulo y 660 V en estrella.

El principio consiste en arrancar el motor acoplando los devanados en estrella a la tensión de la red, lo que equivale a dividir la tensión nominal del motor en estrella por $\sqrt{3}$. La punta de corriente durante el arranque se divide por 3. El par de arranque se divide igualmente por 3, ya que es proporcional al cuadrado de la tensión de alimentación.

La punta de corriente en el arranque es:

$$I_{arr} = 1.5 \text{ a } 2.6 I_n$$

El par de arranque es:

$$M_{arr} = 0.2 \text{ a } 0.5 M_n$$

En los motores industriales la relación entre el par de arranque y nominal, varía entre 1,2 y 2; en consecuencia el par de arranque resultante oscila entre 0,4 y 0,67 del par nominal, por ello este procedimiento solamente se aplica en aquellos casos en los que el par resistente de la carga, en el momento de la puesta en marcha no excede, como media, del 50% del par nominal, como sucede en determinadas aplicaciones como, bombas centrífugas y ventiladores.

La velocidad del motor se estabiliza cuando se equilibran el par del motor y el par resistente, normalmente entre el 75 y 85% de la velocidad nominal. En ese momento, los devanados se acoplan en triángulo y el motor rinde según sus características. Mediante un temporizador se controla el tiempo de transición del acoplamiento en estrella al acoplamiento en triángulo. El cierre del contactor de triángulo se produce con un retardo de 30 a 50 milisegundos tras la apertura del

contactor de estrella, lo que evita un cortocircuito entre fases al no poder encontrarse ambos cerrados al mismo tiempo.

La corriente que recorre los devanados se interrumpe con la apertura del contactor de estrella y se restablece con el cierre del contactor de triángulo. En paso al acoplamiento en triángulo va acompañado de una punta de corriente transitoria, tan breve como importante, debida a la fuerza contra electromotriz del motor.

El arranque estrella-triángulo es apropiado para las máquinas cuyo par resistente es débil o que arrancan en vacío.

Dependiendo del régimen transitorio en el momento del acoplamiento en triángulo, puede ser necesario utilizar una variante que limite los fenómenos transitorios cuando se supera cierta potencia:

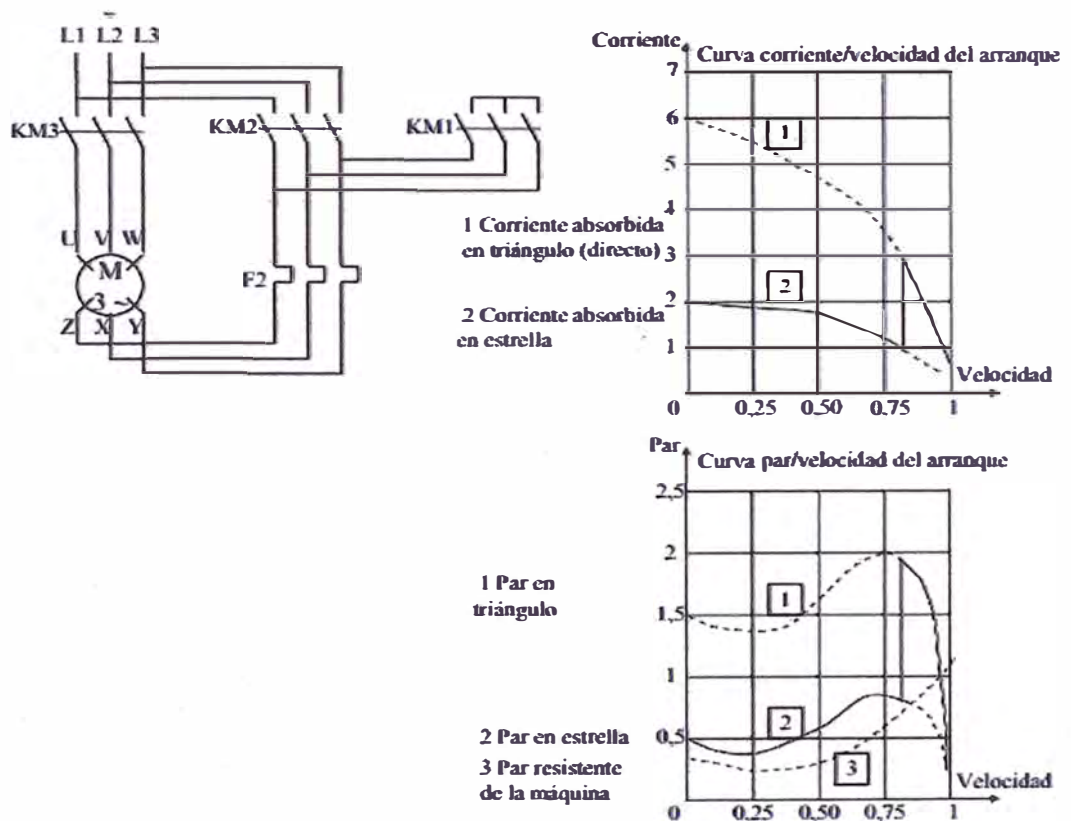
- Temporización de 1 a 2 segundos al paso estrella-triángulo: Esta medida permite disminuir la f.c.e.m. y, por tanto, la punta de corriente transitoria. Esta variante sólo puede utilizarse en máquinas cuya inercia sea suficiente para evitar una deceleración excesiva durante la temporización.
- Arranque en tres tiempos: estrella-triángulo + resistencia-triángulo: El corte se mantiene, pero la resistencia se pone en serie aproximadamente durante tres segundos con los devanados acoplados en triángulo. Esta medida reduce la punta de corriente transitoria.
- Arranque en estrella-triángulo + resistencia-triángulo sin corte: La resistencia se pone en serie con los devanados inmediatamente antes de la apertura

del contactor de estrella. Esta medida evita cualquier corte de corriente y, por tanto, la aparición de fenómenos transitorios

El uso de estas variantes conlleva la instalación de componentes adicionales y el consiguiente aumento del coste total.

En la Figura 3.2 se puede apreciar el esquema del arranque estrella – triángulo.

Figura 3.2. Esquema de arranque estrella – triángulo



3.1.3 Arranque estatórico por resistencias:

Consiste en arrancar el motor bajo tensión reducida mediante la inserción de resistencias en serie con los devanados. Una vez estabilizada la velocidad, las resistencias se eliminan y el motor se acopla directamente a la red. Para controlar la operación, normalmente, se suele utilizar un temporizador.

Durante este tipo de arranque, el acoplamiento de los devanados del motor no se modifica, por tanto, no es necesario que las dos extremidades de cada devanado lleguen a la placa de bornes.

El valor de la resistencia se calcula en base a la punta de corriente que no se debe superar durante el arranque, o al valor mínimo del par de arranque necesario teniendo en cuenta el par resistente de la máquina accionada.

Generalmente, los valores de la corriente y del par de arranque son:

$$I_{arr} = 4.5 I_n$$

$$M_{arr} = 0.75 M_n$$

Durante la fase de aceleración con las resistencias, la tensión que se aplica a las bornas del motor no es constante. Equivale a la tensión de la red menos la caída de tensión que tiene lugar en la resistencia de arranque.

La caída de tensión es proporcional a la corriente absorbida por el motor. Dado que la corriente disminuye a medida que se acelera el motor, sucede lo

mismo con la caída de tensión de la resistencia. Por tanto, la tensión que se aplica a las bornas del motor es mínima en el momento del arranque y aumenta progresivamente.

Dado que el par es proporcional al cuadrado de la tensión en las bornas del motor, este aumenta más rápidamente que el caso del arranque estrella-triángulo, en el que la tensión permanece invariable mientras dura el acoplamiento en estrella.

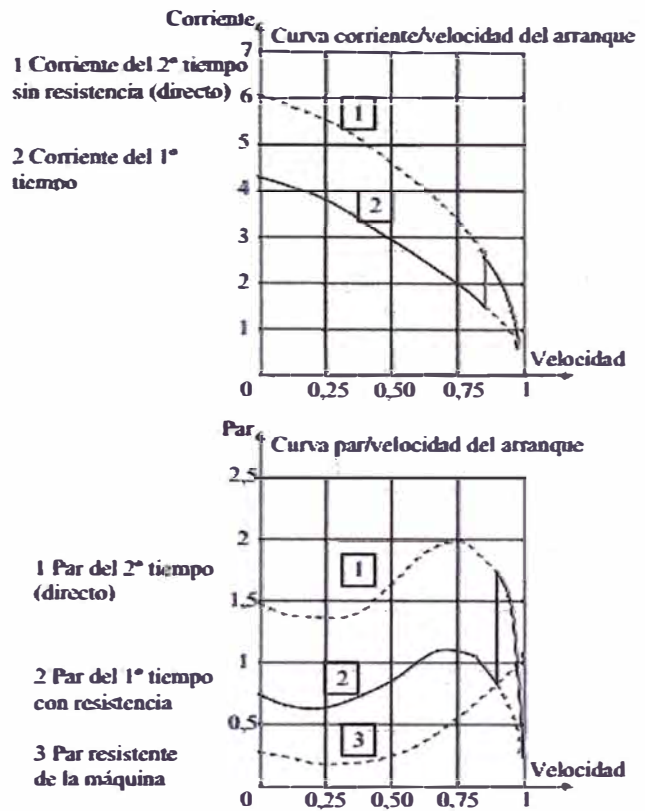
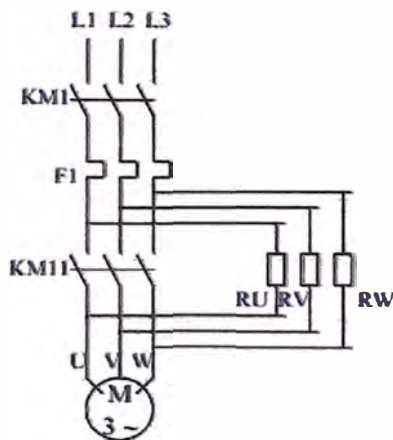
Este tipo de arranque es apropiado para máquinas cuyo par resistente crece con la velocidad, por ejemplo en los ventiladores.

Su inconveniente consiste en que la punta de corriente es relativamente importante durante el arranque. Es posible reducirla mediante el aumento del valor de la resistencia, pero esta medida conllevaría una caída de tensión adicional en las bornas del motor y, por tanto, una considerable reducción del par de arranque.

Por el contrario, la eliminación de la resistencia al finalizar el arranque se lleva a cabo sin interrumpir la alimentación del motor y, por tanto, sin fenómenos transitorios.

En la Figura 3.3 se puede apreciar el esquema del arranque estático por resistencias.

Figura 3.3. Esquema de arranque estático por resistencias



3.1.4 Arranque por autotransformador:

El motor se alimenta a tensión reducida mediante un autotransformador que, una vez finalizado el arranque queda fuera del circuito.

El arranque se lleva a cabo en tres tiempos:

- En el primer tiempo, el autotransformador comienza por acoplarse en estrella y, a continuación, el motor se acopla a la red a través de una parte

de los devanados del autotransformador. El arranque se lleva a cabo a una tensión reducida que se calcula en función de la relación de transformación. Generalmente el transformador está dotado de tomas que permiten seleccionar la relación de transformación y, por tanto, el valor más adecuado de la tensión reducida.

- Antes de pasar al acoplamiento a plena tensión, la estrella se abre. En ese momento, la fracción de bobinado conectada a la red crea una inductancia en serie con el motor. Esta operación se realiza cuando se alcanza la velocidad de equilibrio al final del primer tiempo.
- El acoplamiento a plena tensión interviene a partir del segundo tiempo, normalmente muy corto (una fracción de segundo). Las inductancias en serie con el motor se cortocircuitan y, a continuación, el autotransformador queda fuera del circuito.

La corriente y el par de arranque varían en la misma proporción, se obtienen los siguientes valores:

$$I_{arr} = 1.4 \text{ a } 4 I_n$$

$$M_{arr} = 0.5 \text{ a } 0.85 M_n$$

El arranque se lleva a cabo sin interrupción de corriente en el motor, lo que evita que se produzcan fenómenos transitorios. No obstante, si no se toman ciertas precauciones pueden aparecer fenómenos transitorios de igual naturaleza durante el acoplamiento a plena tensión.

De hecho, el valor de la inductancia en serie con el motor tras la apertura de la estrella es importante si se compara con la del motor. Como consecuencia, se produce una caída de tensión considerable que acarrea una punta de corriente transitoria elevada en el momento del acoplamiento a plena tensión.

El circuito magnético del autotransformador incluye un entrehierro que disminuye el valor de la inductancia para paliar este problema. Dicho valor se calcula de modo que, al abrirse la estrella en el segundo tiempo, no haya variación de tensión en las bornes del motor. El entrehierro aumenta la corriente magnetizante del autotransformador. Dicha corriente aumenta la corriente solicitada en la red durante el primer tiempo del arranque.

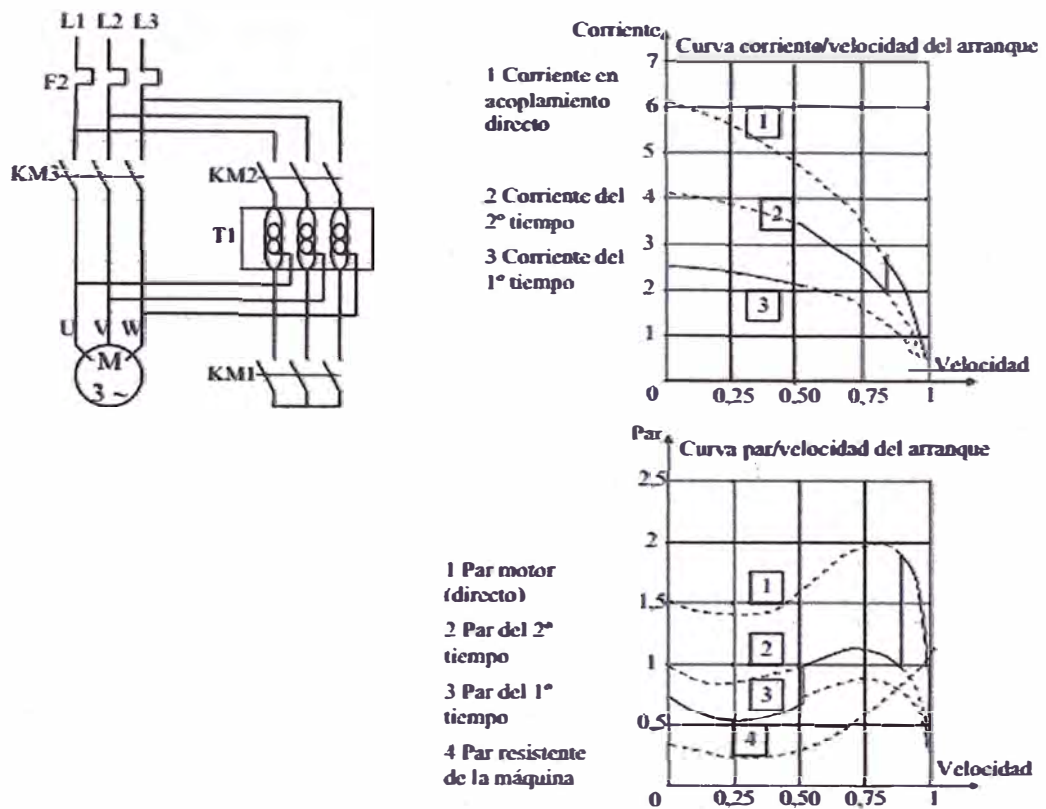
Este modo de arranque suele utilizarse en los motores con potencia superior a 100 kW. Sin embargo, el precio de los equipos es relativamente alto debido al elevado coste del autotransformador.

En la Figura 3.4 se puede apreciar el esquema del arranque por autotransformador.

3.1.5 Arranque de los motores de rotor bobinado

Un motor de anillos no puede arrancar en directo (devanados rotóricos cortocircuitados) sin provocar puntas de corriente inadmisibles. Es necesario insertar en el circuito rotórico resistencias que se cortocircuiten progresivamente, al tiempo que se alimenta el estator a toda la tensión de red.

Figura 3.4. Esquema de arranque por autotransformador.



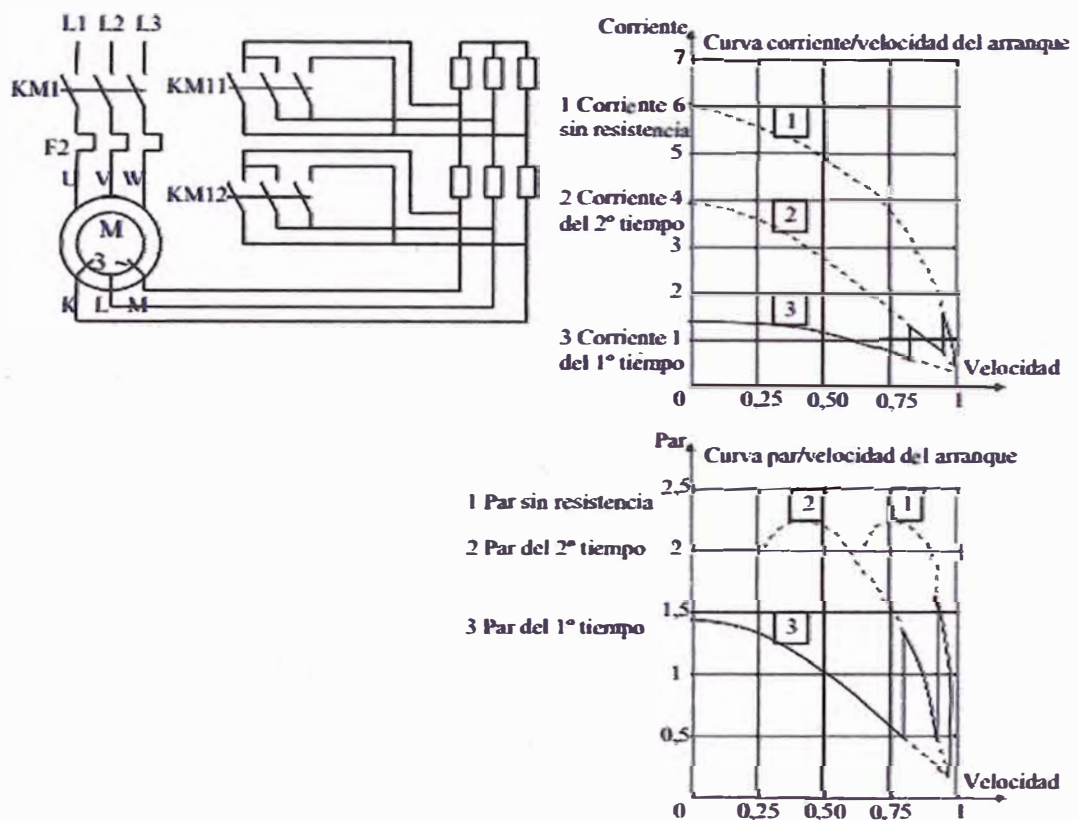
El cálculo de la resistencia insertada en cada fase permite determinar con rigor la curva de par-velocidad resultante; para un par dado, la velocidad es menor cuanto mayor sea la resistencia. Como resultado, la resistencia debe insertarse por completo en el momento del arranque y la plena velocidad se alcanza cuando la resistencia está completamente cortocircuitada.

La corriente absorbida es prácticamente proporcional al par que se suministra. Como máximo, es ligeramente superior a este valor teórico. El motor de anillos con arranque rotórico se impone, por tanto, en todos los casos en los que las puntas de corriente deben ser débiles y cuando las máquinas deben

arrancar a plena carga. Por lo demás, este tipo de arranque es sumamente flexible, ya que resulta fácil adaptar el número y el aspecto de las curvas que representan los tiempos sucesivos a los requisitos mecánicos o eléctricos (par resistente, valor de aceleración, punta máxima de corriente, etc.).

En la Figura 3.5 se puede apreciar el esquema del arranque de los motores de rotor bobinado.

Figura 3.5. Esquema de arranque de los motores de rotor bobinado.



3.1.6 Arranque electrónico:

La alimentación del motor durante la puesta en tensión se realiza mediante una subida progresiva de la tensión, lo que posibilita un arranque sin sacudidas y reduce la punta de corriente. Para obtener este resultado, se utiliza un graduador de tiristores montados en oposición de dos por dos en cada fase de la red.

La subida progresiva de la tensión de salida puede controlarse por medio de la rampa de aceleración, que depende del valor de la corriente de limitación, o vincularse a ambos parámetros.

Un arrancador ralentizador progresivo es un graduador de seis tiristores que se puede utilizar para arrancar y parar de manera controlada los motores trifásicos de jaula, y garantiza:

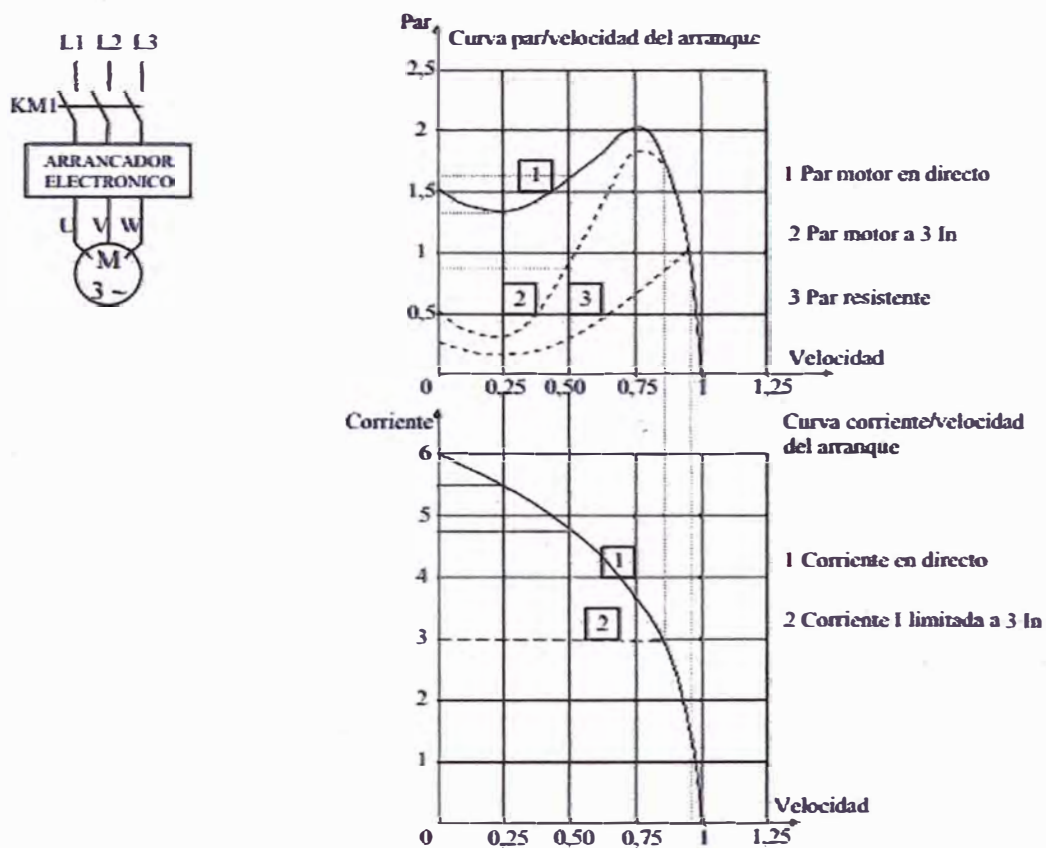
- El control de las características de funcionamiento, principalmente durante los periodos de arranque y parada.
- La protección térmica del motor y del arrancador.
- La protección mecánica de la máquina accionada, mediante la supresión de las sacudidas de par y la reducción de la corriente solicitada.

La corriente puede regularse de 2 a 5 veces la corriente nominal, lo que proporciona un par de arranque regulable entre 0,1 y 0,7 del par de arranque en directo.

Permite arrancar todo tipo de motores asíncronos. Puede cortocircuitarse para arrancar por medio de un contactor y mantener al mismo tiempo el dominio del circuito de control. A todo esto hay que añadir la posibilidad de deceleración progresiva y parada frenada.

En la Figura 3.6 se puede apreciar el esquema del arranque por arrancador electrónico.

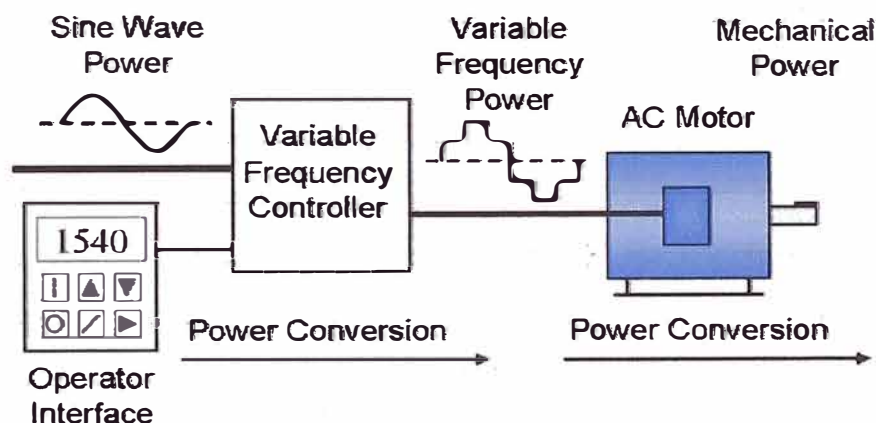
Figura 3.6. Esquema de arranque por arrancador electrónico.



3.2 Variador de Frecuencia

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, microdrivers o inversores. Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia).

Figura 3.7. Diagrama de un sistema VFD



3.2.1 Principio de Funcionamiento

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estátor, de acuerdo con la relación:

$$\text{Revoluciones por minuto (RPM)} = \frac{120 \cdot \text{frecuencia}}{\text{número de polos}}$$

Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en Motor asíncrono son 2, 4, 6 y 8 polos que, siguiendo la ecuación citada, resultarían en 3000 RPM, 1500 RPM, 1000 RPM y 750 RPM respectivamente para motores sincrónicos únicamente y a la frecuencia de 50 Hz. Dependiendo de la ubicación geográfica funciona en 50Hz o 60Hz.

En los motores asíncronos las revoluciones por minuto son ligeramente menores por el propio asincronismo que indica su nombre. En estos se produce un desfase mínimo entre la velocidad de rotación (RPM) del rotor (velocidad "real" o "de salida") comparativamente con la cantidad de RPM's del campo magnético (las cuales si deberían cumplir la ecuación arriba mencionada tanto en Motores síncronos como en motores asíncronos) debido a que sólo es atraído por el campo magnético exterior que lo aventaja siempre en velocidad (de lo contrario el motor dejaría de tener par en los momentos en los que alcanzase al campo magnético)

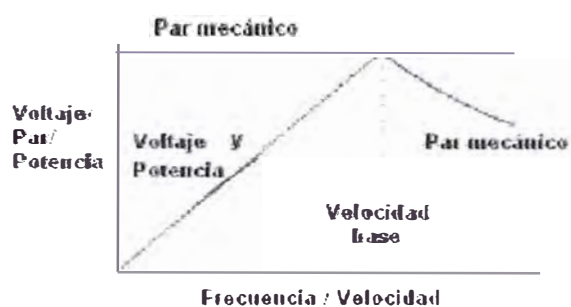
3.2.2 Descripción del VFD

Un sistema de variador de frecuencia (VFD) consiste generalmente en un motor de CA, un controlador y una interfaz operadora.

El motor usado en un sistema VFD es normalmente un motor de inducción trifásico. Algunos tipos de motores monofásicos pueden ser

igualmente usados, pero los motores de tres fases son normalmente preferidos. Varios tipos de motores síncronos ofrecen ventajas en algunas situaciones, pero los motores de inducción son más apropiados para la mayoría de propósitos y son generalmente la elección más económica. Motores diseñados para trabajar a velocidad fija son usados habitualmente, pero la mejora de los diseños de motores estándar aumenta la fiabilidad y consigue mejor rendimiento del VFD.

Figura 3.8. Relación par/velocidad para un motor controlado por VFD

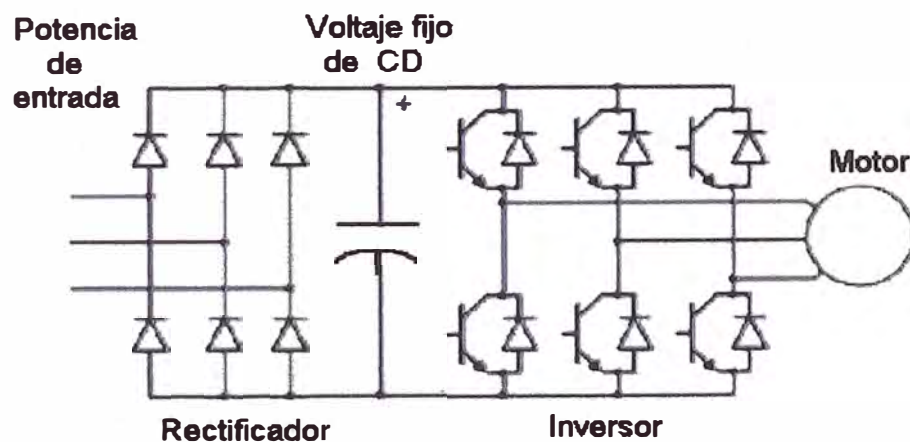


El controlador de dispositivo de variación de frecuencia está formado por dispositivos de conversión electrónicos de estado sólido. El diseño habitual primero convierte la energía de entrada CA en CC usando un puente rectificador. La energía intermedia CC es convertida en una señal quasi-senoidal de CA usando un circuito inversor conmutado. El rectificador es usualmente un puente trifásico de diodos, pero también se usan rectificadores controlados. Debido a que la energía es convertida en continua, muchas unidades aceptan entradas tanto monofásicas como trifásicas (actuando como un convertidor de fase, un variador de velocidad).

Tan pronto como aparecieron los interruptores semiconductores fueron introducidos en los Variadores de Frecuencia, ellos han sido aplicados para los inversores de todas las tensiones que hay disponibles. Actualmente, los transistores bipolares de puerta aislada (IGBTs) son usados en la mayoría de circuitos inversores.

Las características del motor CA requieren la variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada. Por ejemplo, si un motor está diseñado para trabajar a 460 voltios a 60 Hz, el voltaje aplicado debe reducirse a 230 volts cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz. Así la relación voltios/hertzios deben ser regulados en un valor constante ($460/60 = 7.67 \text{ V/Hz}$ en este caso). Para un funcionamiento óptimo, otros ajustes de voltaje son necesarios, pero nominalmente la constante es V/Hz es la regla general. El método más novedoso y extendido en nuevas aplicaciones es el control de voltaje por PWM.

Figura 3.9. Diagrama de VFD con PWM



3.3 Dispositivos de protección eléctrica

Toda instalación eléctrica tiene que estar dotada de una serie de protecciones que la hagan segura, tanto desde el punto de vista de los conductores y los aparatos a ellos conectados, como de las personas que han de trabajar con ella.

Existen muchos tipos de protecciones, que pueden hacer a una instalación eléctrica completamente segura ante cualquier contingencia, pero hay tres que deben usarse en todo tipo de instalación: de alumbrado, domesticas, de fuerza, redes de distribución, circuitos auxiliares, etc., ya sea de baja o alta tensión. Estas tres protecciones eléctricas, que describiremos con detalle a continuación son:

Protección contra cortocircuitos

Protección contra sobrecarga

Protección contra electrocución

3.3.1 Protección contra cortocircuitos

Se denomina cortocircuito a la unión de dos conductores o partes de un circuito eléctrico, con una diferencia de potencial o tensión entre si, sin ninguna impedancia eléctrica entre ellos.

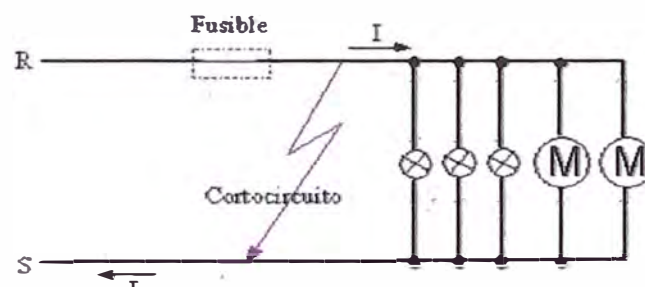
Según los reglamentos electrotécnicos, "en el origen de todo circuito deberá colocarse un dispositivo de protección, de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en la instalación". No obstante se admite una protección general contra cortocircuitos para varios circuitos derivados.

Los dispositivos más empleados para la protección contra cortocircuitos son los fusibles y los interruptores automáticos magnetotérmicos.

3.3.1.1 Fusibles

Los fusibles o cortacircuitos, según se ve en la Figura 3.10, no son más que una sección de hilo más fino que los conductores normales, colocado en la entrada del circuito a proteger, para que al aumentar la corriente, debido a un cortocircuito, sea la parte que más se caliente, y por tanto la primera en fundirse. Una vez interrumpida la corriente, el resto del circuito ya no sufre daño alguno.

Figura 3.10. Fundamento de funcionamiento del fusible



Existen básicamente tres tipos de fusibles, los cuales son detallados a continuación.

Los *fusibles lentos (gT)* son los menos utilizados, empleándose para la protección de redes aéreas de distribución generalmente, debido a los cortocircuitos momentáneos que los árboles o el viento pueden hacer entre los conductores.

Los fusibles rápidos (gF) se emplean para la protección de redes de distribución con cables aislados y para los circuitos de alumbrado generalmente.

Los fusibles rápidos (gF) se emplean para la protección de redes de distribución con cables aislados y para los circuitos de alumbrado generalmente.

Los fusibles de acompañamiento (aM), se fabrican especialmente para la protección de motores, debido a que aguanten sin fundirse las puntas de intensidad que estos absorben en el arranque. Su nombre proviene de que han de ir acompañados de otros elementos de protección, como son generalmente los relés térmicos.

Los cartuchos fusibles de los tipos gF y gT bien elegidos, en cuanto a intensidad de fusión, se emplean también como protección contra sobrecargas, principalmente en instalaciones de alumbrado y de distribución, pero nunca debe de emplearse el tipo aM, ya que éstos, como ya se dijo, están diseñados especialmente para la protección contra cortocircuitos de los motores eléctricos.

3.3.1.2 Interruptores automáticos magnetotérmicos

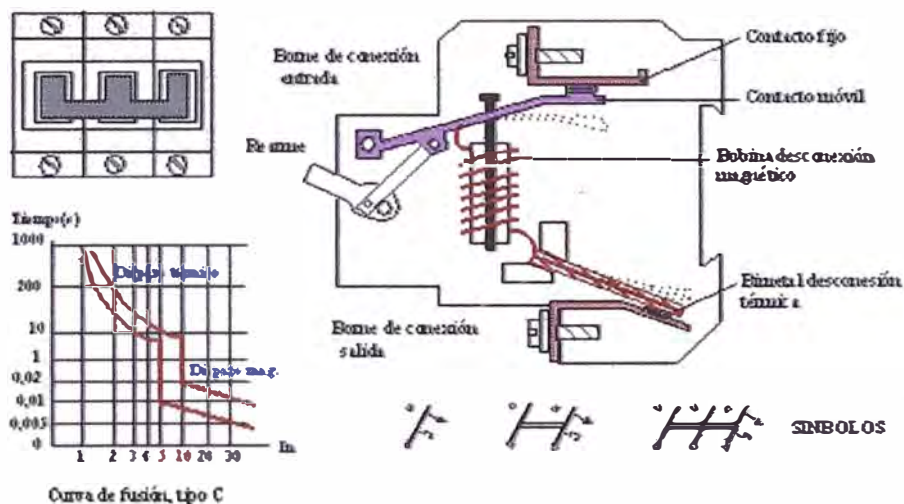
Estos dispositivos, conocidos abreviadamente por PIA (Pequeño Interruptor Automático), se emplean para la protección de los circuitos eléctricos, contra cortocircuitos y sobrecargas, en sustitución de los fusibles, ya

que tienen la ventaja de que no hay que reponerlos; cuando desconectan debido a una sobrecarga o un cortocircuito, se rearman de nuevo y siguen funcionando.

Según el número de polos, se clasifican éstos en: unipolares, bipolares, tripolares y tetrapolares. Estos últimos se utilizan para redes trifásicas con neutro.

En la figura 16.3, se ve la parte correspondiente a una fase de uno de estos interruptores, dibujado en sección, para que se vean mejor sus principales órganos internos.

Figura 3.11. Interruptor magnetotérmico



Estos aparatos constan de un disparador o desconector magnético, formado por una bobina, que actúa sobre un contacto móvil, cuando la intensidad que la atraviesa su valor nominal (I_n). Éste es el elemento que protege la instalación contra cortocircuitos, por ser muy rápido su

funcionamiento, y cada vez que desconecta por este motivo debe de rearmarse (cerrar de nuevo el contacto superior), bien sea manual o eléctricamente.

También poseen un desconector térmico, formado por una lámina bimetálica, que se dobla al ser calentada por un exceso de intensidad, y aunque más lentamente que el dispositivo anterior, desconecta el contacto inferior del dibujo. Esta es la protección contra sobrecargas y su velocidad de desconexión es inversamente proporcional a la sobrecarga. Cuando la desconexión es por efecto de una sobrecarga, debe de esperarse a que enfríe la bilamina y cierre su contacto, para que la corriente pase de nuevo a los circuitos protegidos.

Los interruptores automáticos magnetotérmicos, se emplean mucho domésticamente y para instalaciones de Baja Tensión en general y suelen fabricarse para intensidades entre 5 y 125 amperios, de forma modular y calibración fija, sin posibilidad de regulación. Para intensidades mayores, en instalaciones industriales, de hasta 1.000 A o más, suelen estar provistos de una regulación externa, al menos para el elemento magnético, de protección contra cortocircuitos.

3.3.2 Protección contra sobrecargas

Entendemos por sobrecarga al exceso de intensidad en un circuito, debido a un defecto de aislamiento o bien, a una avería o demanda excesiva de carga de la máquina conectada a un motor eléctrico.

Las sobrecargas deben de protegerse, ya que pueden dar lugar a la destrucción total de los aislamientos, de una red o de un motor conectado a ella. Una sobrecarga no protegida degenera siempre en un cortocircuito.

Según los reglamentos electrotécnicos "Si el conductor neutro tiene la misma sección que las fases, la protección contra sobrecargas se hará con un dispositivo que proteja solamente las fases, por el contrario si la sección del conductor neutro es inferior a la de las fases, el dispositivo de protección habrá de controlar también la corriente del neutro". Además debe de colocarse una protección para cada circuito derivado de otro principal.

Los dispositivos más empleados para la protección contra sobrecargas son:

Fusibles calibrados, tipo gT o gF (nunca aM)

Interruptores automáticos magnetotérmicos (PIA)

Relés térmicos

Para los circuitos domésticos, de alumbrado y para pequeños motores, se suelen emplear los dos primeros, al igual que para los cortocircuitos, siempre y cuando se utilice el tipo y la calibración apropiada al circuito a proteger. Por el contrario para los motores trifásicos se suelen emplear los llamados relés térmicos.

3.3.3 Protección contra electrocución

Frente a los peligros de la corriente eléctrica, la seguridad de las personas, ha de estar fundamentada en que nunca puedan estar sometidas involuntariamente a una tensión peligrosa. Por tal motivo, para la protección contra electrocución deben de ponerse los medios necesarios para que esto nunca ocurra.

La reglamentación actual clasifica las protecciones contra contactos indirectos, que pueden dar lugar a electrocución en dos clases:

Clase A: Esta clase consiste en tomar medidas que eviten el riesgo en todo momento, de tocar partes en tensión, o susceptibles de estarlo, y las medidas a tomar son:

- Separación de circuitos
- Empleo de pequeñas tensiones de seguridad (50, 24 o 15 V)
- Separación entre partes con tensión y masas metálicas, por medio de aislamientos
- Inaccesibilidad simultanea entre conductores y masas
- Recubrimiento de las masas con elementos aislantes
- Conexiones equipotenciales

Clase B: Este sistema que es el más empleado, tanto en instalaciones domésticas como industriales, consiste en la puesta a tierra de las masas,

asociada a un dispositivo de corte automático (relé o controlador de aislamiento), que desconecte la instalación defectuosa.

Por ello se emplean principalmente dos tipos de protecciones diferentes, a saber:

- Puesta a tierra de las masas
- Relés de control de aislamiento, que a su vez pueden ser:
- Interruptores diferenciales, para redes con neutro a tierra.
- Relés de aislamiento, para redes con neutro aislado

Debido a que los sistemas de puesta a tierra son por demás conocidos en el ámbito industrial sólo expondremos los interruptores diferenciales.

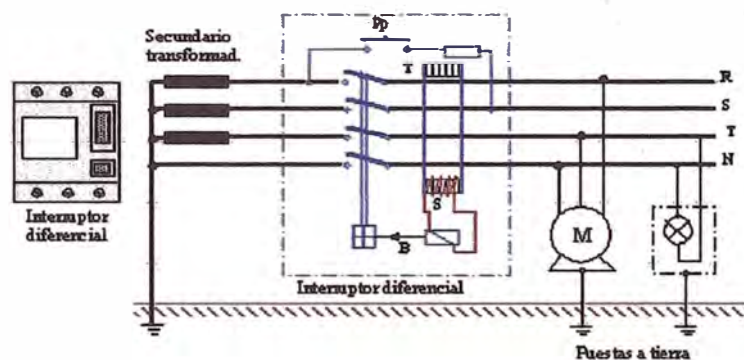
El interruptor diferencial es un aparato cuya misión es desconectar una red de distribución eléctrica, cuando alguna de sus fases se pone a tierra, bien sea directamente o a través de humedades generalmente. El interruptor diferencial se activa al detectar una corriente de defecto I_d , que sea superior a su umbral de sensibilidad I_s .

La protección diferencial está basada en la 1ª Ley de Kirchoff, que como ya sabemos dice: "En todo nudo de conductores, la suma de las intensidades que a él llegan, es igual a la suma de las intensidades que de él salen". Esto hace que cuando se produce la derivación a tierra de una fase, exista un desequilibrio entre la suma geométrica de las intensidades de la red; este desequilibrio, que es precisamente la corriente de defecto I_d , es lo que detecta

el interruptor diferencial, provocando a continuación la desconexión de la red defectuosa.

Los interruptores diferenciales, según vemos en la figura 3.12, constan de un transformador, cuyo primario está formado por todas las fases de la red, incluido el neutro, que atraviesan un núcleo toroidal (T), y el arrollamiento secundario está formado por una pequeña bobina (S).

Figura 3.12. Funcionamiento y conexión de un interruptor diferencial



El arrollamiento secundario (S) se conecta luego a un relé que actúa sobre el mecanismo de desconexión del interruptor (B). Todo ello se halla contenido en una caja aislante, con bornes de entrada y salida de red, y pueden ser: Monopolares, Bipolares, Tripolares y Tetrapolares, estos últimos para redes trifásicas con neutro distribuido.

Mientras no exista ninguna derivación a tierra en la instalación, la suma geométrica de las intensidades que circulan por los conductores, será igual a cero ($I_d = 0$), permaneciendo el interruptor cerrado. Por el contrario cuando exista una derivación a tierra de una fase, aparece una corriente de defecto o

fuga I_d , que induce una corriente en el secundario del transformador toroidal; cuando la corriente de defecto I_d sea igual o mayor que la sensibilidad del interruptor I_s , el mecanismo de desconexión abre el interruptor. Una vez reparada la avería, el interruptor diferencial debe de cerrarse manualmente.

CAPÍTULO 4

IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES

4.1 Especificaciones del sistema por parte del cliente

El cliente brindó las siguientes especificaciones para el centro de control de motores:

- Tablero de acero inoxidable de cuatro cuerpos, de ancho máximo total de 2400 mm, altura total de 2200 mm incluyendo un zócalo de 100 mm con techo inclinado contra caída de lluvia y profundidad de 600 mm.
- Ingreso y salida de cables por la parte inferior del tablero.
- Instalación en intemperie.
- Tensión de trabajo 440 VAC trifásico a 60 Hz.
- Tensión de control 110 VAC monofásico a 60 Hz.
- Lámparas de 30 mm de diámetro rojas y verdes en las puertas para indicar presencia de tensión y estado de operación de cada motor.
- Panel táctil de 10 pulgadas en puerta.
- Tablero iluminado por dentro.
- Opción de comunicación con PCS SIEMENS de planta ya existente via Ethernet.

- Las botoneras de accionamiento manual y parada de emergencia serán contempladas en el diseño por parte de FAMETAL pero serán provistas, externas al tablero por el cliente, FAMETAL habilitará bornes para la conexión.
- Se considerará en el diseño de cada mando de control un enclavamiento de proceso y otro de protección pero se dejará puenteado en bornes para futura implementación por parte del cliente.

4.2 Sistema de bombeo y control de flujo del clarificador Krofta

El cliente entregó información sobre el sistema de bombeo y control de flujo del clarificador en forma de pantallas de control que su staff de ingenieros elaboró, por lo cual se puede observar en las Figuras de la 3.1 a la 3.3 el sistema completo de bombeo y control de flujo.

De los diagramas se observa la existencia de 16 bombas simples, 4 tanques, 4 bombas controlables y diversos sistemas de medición de nivel y apertura de válvulas simples, eléctricas y controlables.

El alcance del proyecto actual no incluye el total de bombas y válvulas que aparecen en los diagramas, el cliente ha definido específicamente cuáles de las bombas y válvulas quiere que controlemos, cada cual con su correspondiente especificación y su lógica de control.

Figura 4.1. Diagrama principal del sistema de bombeo del clarificador Krofta

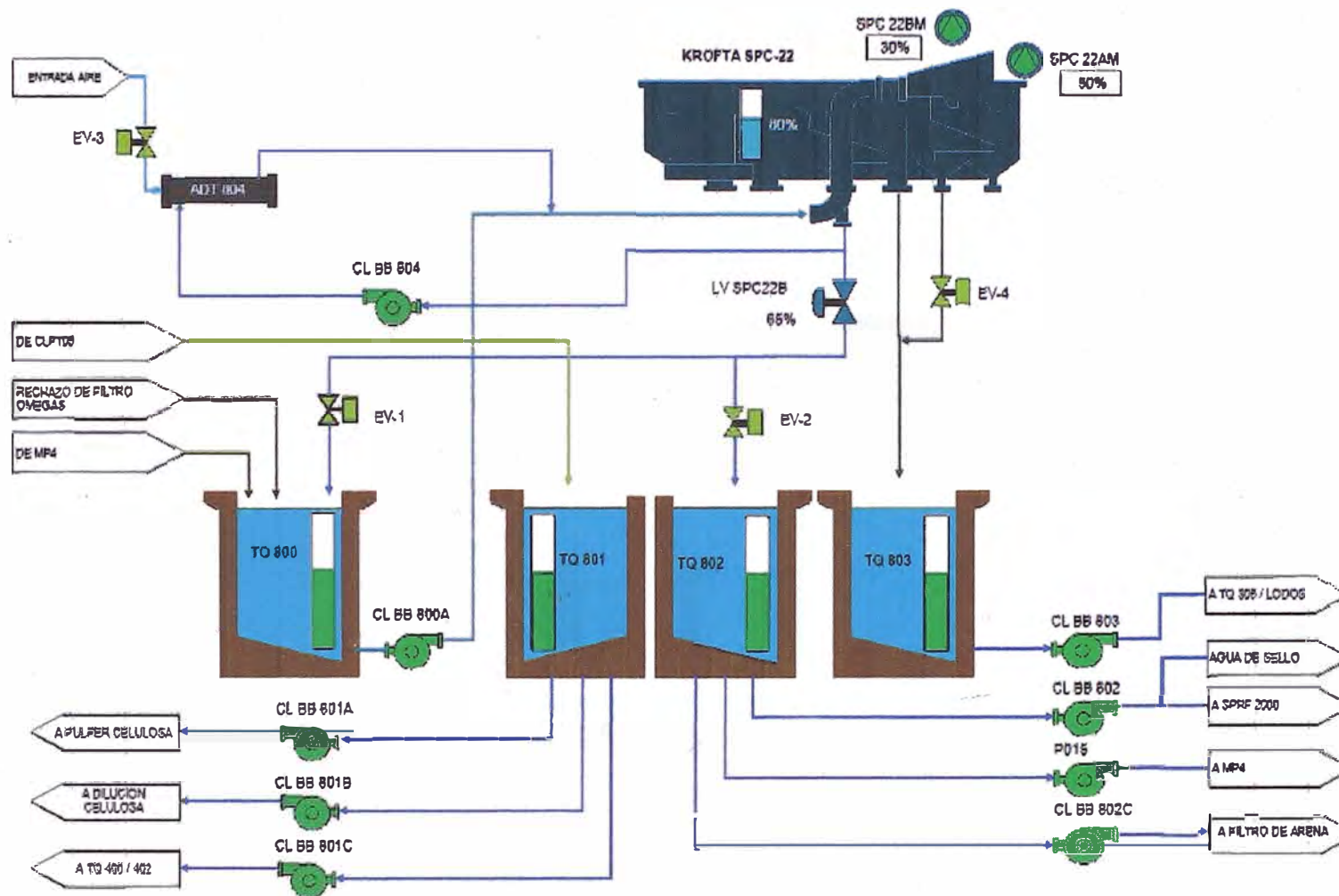


Figura 4.2. Diagrama complementario 1 del sistema de bombeo del clarificador

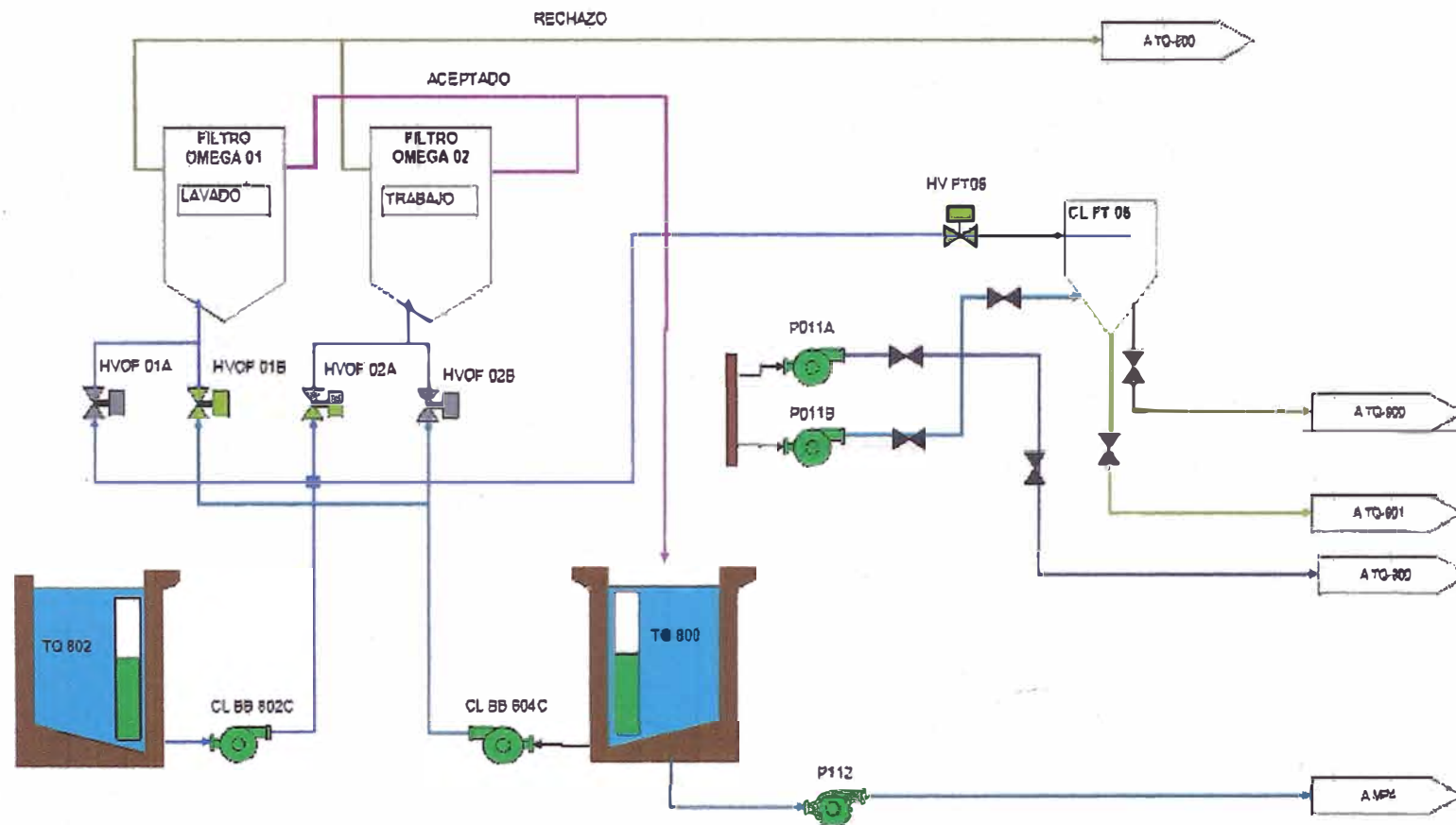
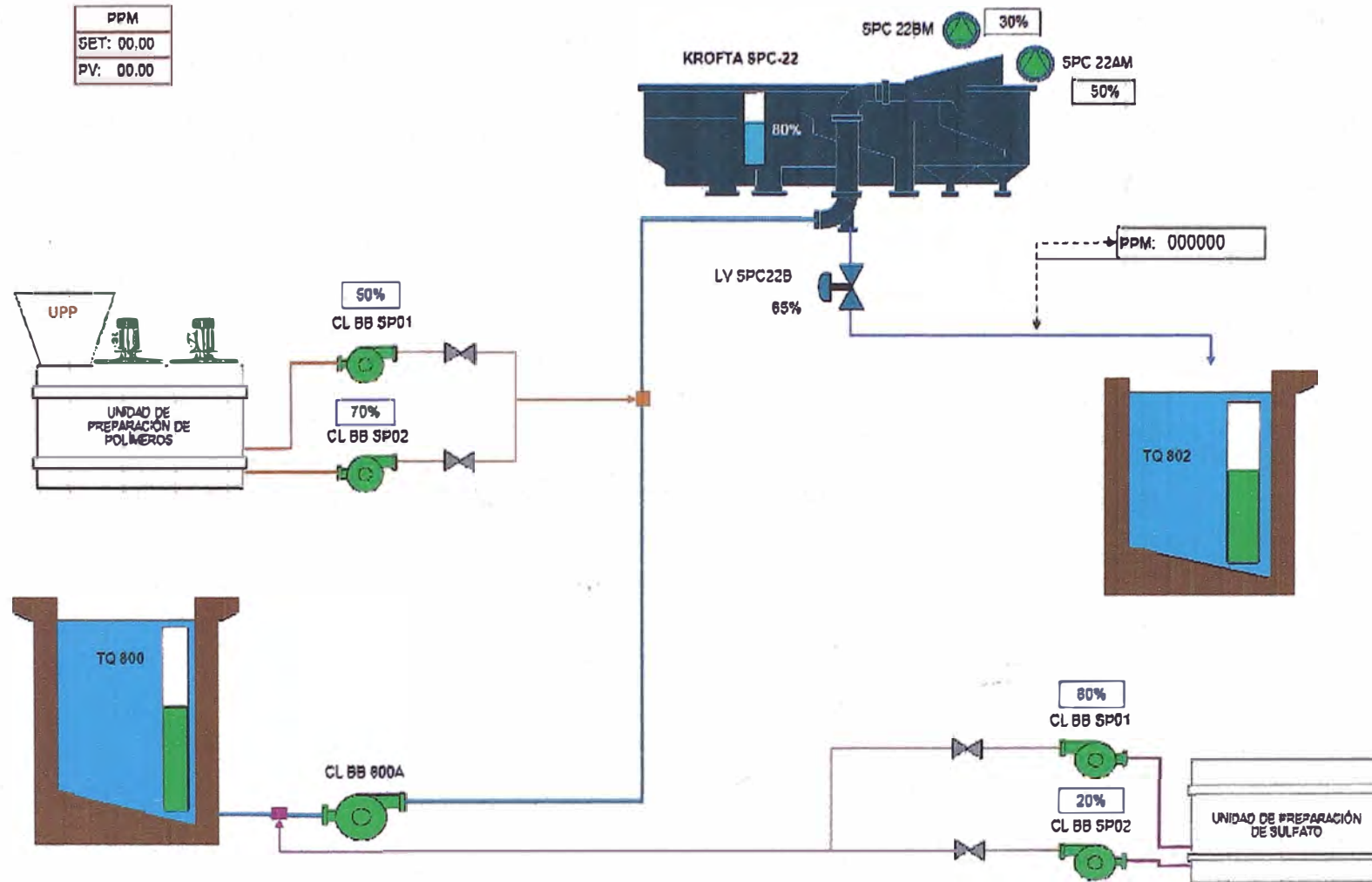


Figura 4.3. Diagrama complementario 2 del sistema de bombeo del clarificador



4.3 Identificación de los dispositivos a ser controlados:

La Tabla 4.1 muestra los motores a ser controlados, esto según especificación del cliente, se indica la potencia y el tipo de arranque, ya sea Directo, por Soft Starter (SS) o por Variador de Frecuencia (VF).

Tabla 4.1. Motores a ser controlados

Descripción	Tag	Potencia (kW)	Tipo de Arranque
Motor reductor del Filtro Trener 2000	CL FT 2000	0.75	Directo
Motor de bomba lodos a Tanque 305 – 102	CL BB 803	7.5	Directo
Motor de bomba a alimentación de agua a Supracell	CL BB 800	11	Directo
Motor agitador del Tanque 800	CL AG 800	18.5	Directo
Motor de bomba agua a Dilución celulosa	CL BB 801B	9	Directo
Motor de bomba agua de sello	CL BB 802	55	SS
Bomba auxiliar al Tanque 802	CL BB 802 ^a	35	SS
Bomba de Tanque 802 a Filtro Omega	CL BB 802C	22.5	Directo
Bomba de Reserva	CL BB 802B	22	Directo
Motor de bomba de presión al ADT	CL BB 804	18.5	Directo
Motor de bomba auxiliar al ADT	CL BB 804B	17.3	Directo
Bomba del Tanque 804 a Filtro Omega	CL BB 804C	18.7	Directo
Motor del carro del Clarificador Supracell	SPC-22AM	1.73	VF
Motor de la cuchara del Clarificador Supracell	SPC-22BM	0.86	VF
Motor de la Bomba de Preparación de polímero 01	CL BBPO01	2	VF
Motor de la Bomba de Preparación de polímero 02	CL BBPO02	2	VF

En resumen se muestra en la tabla 4.2 los tipos de arranque necesarios y la cantidad de motores involucrados. Todos los motores trabajarán a tensión de 440 VAC trifásico a 60 Hz.

Tabla 4.2. Resumen de motores

Tipo de arranque	Cantidad de motores
Directo	10
Soft Starter	02
Variador de frecuencia	04

Adicionalmente el cliente solicitó entregarle las salidas de alimentación simplemente con interruptores (440 VAC trifásico 60 Hz).que se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Salidas de alimentación

Descripción	Potencia (kW)
Unidad de preparación de Polímeros (UPP)	7.5
Unidad de preparación de Sulfatos (UPS)	7.5
Reserva x2	10 x2

Por otra parte el cliente ha pedido controlar todas las válvulas e indicadores de nivel que aparecen con Tag en las figuras de la 4.1 a la 4.3 según la lógica que el mismo entregó.

En la figura 4.4 se aprecia la lista completa de señales que entregó el cliente de acuerdo a sus necesidades.

Figura 4.4. Lista de señales provista por el cliente

TAR ZUMPE	TAR LOGICO	NO. BUSTA DE PRISA	VALOR DE SEÑAL	DI	DO	M	AO	OPCIONAL RED
CL BB 800	XP BB800	ESTATUS PREPARADO A PLC	24 V	X				
	NF BB800	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC	24 V	X				
	RS BB800	PARTIR - PARAR	110 V		X			
CL AG 800	XP AG800	ESTATUS PREPARADO A PLC	24 V	X				
	NF AG800	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC	24 V	X				
	RS AG800	PARTIR - PARAR	110 V		X			
CL BB 801B	XP BB801B	ESTATUS PREPARADO A PLC	24 V	X				
	NF BB801B	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC	24 V	X				
	RS BB801B	PARTIR - PARAR	110 V		X			
CL DD 802	XP BB802	ESTATUS PREPARADO A PLC	24 V	X				
	NF BB802	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC	24 V	X				
	RS BB802	PARTIR - PARAR	110 V		X			
CL BB 802A (P015)	XP BB802A	ESTATUS PREPARADO A PLC	24 V	X				
	NF BB802A	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC	24 V	X				
	RS BB802A	PARTIR - PARAR	110 V		X			
CL BB 802B (P115)	XP BB802B	ESTATUS PREPARADO A FLC	24 V	X				
	NF BB802B	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC	24 V	X				
	RS BB802B	PARTIR - PARAR	110 V		X			
CL BN 802C	XP BB802C	ESTATUS PREPARADO A PLC	24 V	X				
	NF BB802C	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC	24 V	X				
	RS BB802C	PARTIR - PARAR	110 V		X			
CL BB 803	XP BB803	ESTATUS PREPARADO A PLC	24 V	X				
	NF BB803	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC	24 V	X				
	RS BB803	PARTIR - PARAR	110 V		X			
CL NN 804	XP BB804	ESTATUS PREPARADO A PLC	24 V	X				
	NF BB804	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC	24 V	X				
	RS BB804	PARTIR - PARAR	110 V		X			
CL BB 804A (P012)	XP BB804A	ESTATUS PREPARADO A PLC	24 V	X				
	NF BB804A	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC	24 V	X				
	RS BB804A	PARTIR - PARAR	110 V		X			
CL RR 804B (P112)	XP BB804B	ESTATUS PREPARADO A FLC	24 V	X				
	NF BB804B	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC	24 V	X				
	RS BB804B	PARTIR - PARAR	110 V		X			
CL FT 05	XP FT05	ESTATUS PREPARADO A PLC	24 V	X				
	NF FT05	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC	24 V	X				
	RS FT05	PARTIR - PARAR	110 V		X			
CL BB 804C	XP BB804C	ESTATUS PREPARADO A PLC	24 V	X				
	NF BB804C	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC	24 V	X				
	RS BB804C	PARTIR - PARAR	110 V		X			
SPC22 A1	XP SPC22A1	ESTATUS PREPARADO A PLC						
	NF SPC22A1	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC						X
	RS SPC22A1	PARTIR - PARAR						
	SC SPC22A1	CONTROL DE VELOCIDAD						
SPC22 B1	SI SPC22B1	INDICADOR DE VELOCIDAD						
	XP SPC22B1	ESTATUS PREPARADO A PLC						
	NF SPC22B1	ESTATUS FUNCIONANDO A FLC						X
	RS SPC22B1	PARTIR - PARAR						
UPP	LSL UPP	SENSOR DE BAJO NIVEL	24 VDC	X				
	LT B00	TRANSMISOR INDICADOR DE NIVEL	4 - 20 mA			X		
	TO B02	TRANSMISOR INDICADOR DE NIVEL	4 - 20 mA			X		
TO B01	LIT B01	TRANSMISOR INDICADOR DE NIVEL	4 - 20 mA			X		
	TO B03	TRANSMISOR INDICADOR DE NIVEL	4 - 20 mA			X		
	TO B04	TRANSMISOR INDICADOR DE NIVEL	4 - 20 mA			X		
BK LJ B01	LIT B01	TRANSMISOR DE SEÑAL ALICSI M2	4 - 20 mA				X	
TK LJ B02	LIT B02	TRANSMISOR INDICADOR DE NIVEL	4 - 20 mA				X	
SPC22	LIT SPC22	TRANSMISOR INDICADOR DE NIVEL	4 - 20 mA			X		
	LV SPC22	VALVULA DE NIVEL	4 - 20 mA				X	
EV-1	EV-1	VALVULA DE BYPASS A TQ 800	24 V			X		
EV-2	EV-2	VALVULA DE ACEPTADO A TQ B02	24 V			X		
EV-3	EV-3	AIRE PARA ADT B04	24 V			X		
EV-4	EV-4	DESCARGA DE SEDIMENTO	24 V			X		
HV CLFT05	ZSO CLFT05	SENSOR DE POSICION ABIERTO	24 V	X				
	ZSC CLFT05	SENSOR DE POSICION CERRADO	24 V	X				
	HV CLFT05	ABRIR - CERRAR VALVULA	24 V			X		
ADT B04	SV ADT B04	ABRIR - CERRAR VALVULA	24 V			X		
XA - F1001	XA - F1001	ALARMA DE FILTRO TAPADO	24 V	X				
HV OF 01A	ZSO OF 01A	SENSOR DE POSICION ABIERTO	24 V	X				
	ZSC OF 01A	SENSOR DE POSICION CERRADO	24 V	X				
	HV OF 01A	ABRIR - CERRAR VALVULA	24 V			X		
HV OF 01B	ZSO OF 01B	SENSOR DE POSICION ABIERTO	24 V	X				
	ZSC OF 01B	SENSOR DE POSICION CERRADO	24 V	X				
	HV OF 01B	ABRIR - CERRAR VALVULA	24 V			X		
HV OF 02A	ZSO OF 02A	SENSOR DE POSICION ABIERTO	24 V	X				
	ZSC OF 02A	SENSOR DE POSICION CERRADO	24 V	X				
	HV OF 02A	ABRIR - CERRAR VALVULA	24 V			X		
HV OF 02B	ZSO OF 02B	SENSOR DE POSICION ABIERTO	24 V	X				
	ZSC OF 02B	SENSOR DE POSICION CERRADO	24 V	X				
	HV OF 02B	ABRIR - CERRAR VALVULA	24 V			X		

4.4 Selección preliminar de componentes principales

Con los motores identificados podemos hacer la selección de los componentes principales del sistema, estos componentes son los que van a manejar el mayor consumo de potencia eléctrica y el control lógico del sistema, los dispositivos a seleccionar son los siguientes:

- Drives (Soft starters, variadores de frecuencia, etc)
- Interruptores individuales de cada carga.
- Interruptores principales
- PLC

Para la selección de los componentes de potencia nos valdremos de la Tabla 4.4, en la que el cliente nos indica, además de la potencia de los equipos la corriente nominal de los mismos, la cual es el parámetro principal para poder seleccionar los componentes en mención.

Tabla 4.4. Especificación de alimentación de equipos principales

Motor	Potencia (kW)	Corriente Nominal (A)	Tipo de Arranque
CL FT 2000	0.75	1.1	Directo
CL BB 803	7.5	15.1	Directo
CL BB 800	11	19.7	Directo
CL AG 800	18.5	30.5	Directo
CL BB 801B	9	15.4	Directo
CL BB 802	55	88	SS
CL BB 802^a	35	57.5	SS

CL BB 802C	22.5	36.9	Directo
CL BB 802B	22	36.1	Directo
CL BB 804	18.5	30.4	Directo
CL BB 804B	17.3	28.4	Directo
CL BB 804C	18.7	30.7	Directo
SPC-22AM	1.73	2.8	VF
SPC-22BM	0.86	1.4	VF
CL BBPO01	2	3.3	VF
CL BBPO02	2	3.3	VF
UPP	7.5	12.3	-
UPS	7.5	12.3	-
RESERVA	10	16.4	-
RESERVA	10	16.4	-

4.4.1 Selección de Drives:

Esto aplica a los arranques por Soft Starter y Variador de frecuencia.

En el caso de arranque por Soft Starter se utilizaron Arrancadores Suaves de la familia "SIRIUS 3RW 40" [1] de SIEMENS, estos arrancadores son soluciones compactas diseñadas específicamente para realizar arranques y paradas suaves, protegiendo tanto la red como el equipo de sobrecargas, con capacidad de regular la intensidad de corriente y los tiempos de arranque y parada. Estos equipos según la serie manejan valores estándar de potencia e intensidad de corriente nominal, por lo cual se seleccionaron los modelos que más se acercan por encima de la necesidad de los motores como sigue:

Para CBB802 que maneja 55kW/88A el modelo seleccionado es el *3RW 40 55*, que trabaja con 75kW/114A.

Para CBB802A que maneja 35kW/57.5A el modelo seleccionado es el *3RW 40 38*, que trabaja con 37kW/72A.

Figura 4.5. Arrancador suave SIRIUS 3RW 40



Estos arrancadores cuentan con las siguientes entradas/salidas:

Alimentación en 440 VAC trifásico a 60 Hz para la parte de potencia.

Alimentación en 220 VAC monofásico a 60 Hz para la parte de control.

Señal de arranque en 110 VAC monofásico a 60 Hz.

Salida de fuerza hacia el motor en 440 VAC trifásico a 60 Hz.

Bits de indicación de arranque/parada, falla y sobrecarga.

En el caso de arranque por Variador de Frecuencia se utilizaron Inversores Standard modelo "SINAMICS G120" [2] que es una solución modular compacta para arranque de motores por variación de frecuencia, que ofrece conectividad PROFIBUS y PROFINET, realimentación de energía, funciones de seguridad

integrada, etc. Este modelo de Inversor, al ser de la familia SINAMICS es perfectamente compatible con la línea de PLC SIMATIC que se usará en este proyecto. En este caso necesitamos seleccionar principalmente la etapa de potencia (Power Module) correspondiente a cada motor, se seleccionaron los modelos que más se acercan por encima de la necesidad de los motores como sigue:

Para SPC-22AM que maneja 1.73kW/2.8A el modelo seleccionado es el 6SL3224-0BE22, que trabaja con 2.2kW/5.9A.

Para SPC-22BM que maneja 0.86kW/1.4A el modelo seleccionado es el 6SL3224-0BE21, que trabaja con 1.5kW/4.1A.

Para CL BBPO01 que maneja 2kW/3.3A el modelo seleccionado es el 6SL3224-0BE22, que trabaja con 2.2kW/5.9A.

Para CL BBPO02 que maneja 2kW/3.3A el modelo seleccionado es el 6SL3224-0BE22, que trabaja con 2.2kW/5.9A.

Figura 4.6. Inversor Standard G120



Estos inversores cuentan con las siguientes entradas/salidas:

- Alimentación en 440 VAC trifásico a 60 Hz para la parte de potencia.
- Salida de fuerza hacia el motor en 440 VAC trifásico a 60 Hz.

Módulos de entradas y salidas analógicas.

Módulos de entradas digitales.

Módulos de salidas digitales a modo de contactos NO/NC.

Comunicación vía PROFIBUS.

4.4.2 Selección de Interruptores:

Para el caso de Soft Starters y Variadores de Frecuencia, como las funciones de protección inherentes al arranque de motor ya están cubiertas por los respectivos drives seleccionamos Interruptores Automáticos de Caja moldeada de uso general, de la familia "SENTRON 3WL" [3] de SIEMENS, los cuales cuentan con mando automático, capacidad de apertura ante sobrecorriente y sobrecalentamiento, así como la posibilidad de incluir contactores auxiliares, mandos motorizados y demás características extra.

Para el caso de los motores de arranque directo, y las cargas adicionales solicitadas por el cliente, que no cuentan con mayor protección respecto a los fenómenos propios de arranque de motores, seleccionamos Guardamotores de la familia "SIRIUS 3RV" [4], los cuales ofrecen funciones de protección para arranque de motores, mando automático, regulación de corriente máxima, apertura por sobrecorriente o sobrecalentamiento, modularidad para el uso con contactores, entre otras características.

Figura 4.7. Interruptores Automáticos de Caja Moldeada SENTRON 3WL



Figura 4.8. Guardamotores SIRIUS 3RV



De este modo, en la Tabla 4.5 mostramos la selección de interruptores que se realizó para todos los equipos principales, se observa en distintas columnas la capacidad de corriente nominal que va adquiriendo cada etapa, al final queda la capacidad de corriente final de los interruptores que irán directamente conectados al interruptor principal.

Se observa que la corriente nominal de los interruptores (In CB) es bastante cercana a la corriente nominal de los drives correspondientes, salvo en el caso de los motores con variador, esto debido a que esas son las corrientes que maneja el modelo más bajo de la gama.

Tabla 4.5. Selección de interruptores para equipos principales

Motor	In (A)	Drive	In D (A)	Interruptor	In CB (A)
CL FT 2000	1.1	Directo	1.1	3RV1021-1AA10	1.6
CL BB 803	15.1	Directo	15.1	3RV1021-4BA10	20
CL BB 800	19.7	Directo	19.7	3RV1021-4CA10	22
CL AG 800	30.5	Directo	30.5	3RV1031-4FA10	40
CL BB 801B	15.4	Directo	15.4	3RV1021-4BA10	20
CL BB 802	88	3RW 40 55	114	3VL1712	125
CL BB 802A	57.5	3RW 40 38	72	3VL1710	100
CL BB 802C	36.9	Directo	36.9	3RV1031-4FA10	40
CL BB 802B	36.1	Directo	36.1	3RV1031-4FA10	40
CL BB 804	30.4	Directo	30.4	3RV1031-4FA10	40
CL BB 804B	28.4	Directo	28.4	3RV1031-4EA10	32
CL BB 804C	30.7	Directo	30.7	3RV1031-4FA10	40
SPC-22AM	2.8	6SL3224-0BE22	5.9	3VL1702	20
SPC-22BM	1.4	6SL3224-0BE21	4.1	3VL1702	20
CL BBPO01	3.3	6SL3224-0BE22	5.9	3VL1702	20
CL BBPO02	3.3	6SL3224-0BE22	5.9	3VL1702	20
UPP	12.3	Directo	12.3	3RV1021-4AA10	16
UPS	12.3	Directo	12.3	3RV1021-4AA10	16
RESERVA	16.4	Directo	16.4	3RV1021-4BA10	20
RESERVA	16.4	Directo	16.4	3RV1021-4BA10	20

Con los interruptores seleccionados ahora podemos dimensionar el interruptor general o principal, para esto hacemos la sumatoria de todas las corrientes nominales de los interruptores de los equipos principales y consideramos para el resto de circuitería un 10% de la corriente nominal, tenemos entonces:

$$I_n = 672.6 A * 1.10$$

$$I_n = 739.86 A$$

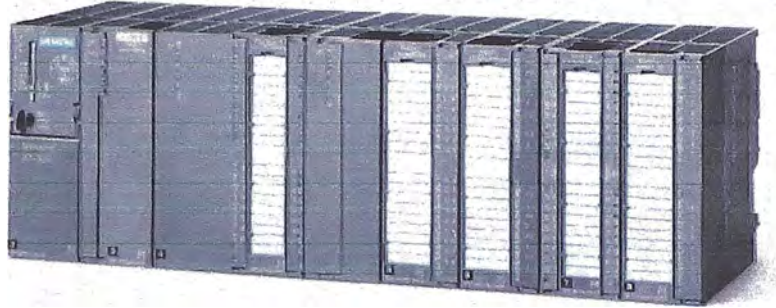
Con lo cual seleccionamos el modelo SENTRON 3VL6780, el cual tiene una corriente nominal de 800 A.

4.4.3 Selección de PLC:

Debido a la cantidad de equipos a manejar, la cantidad de señales a procesar, y el tipo de equipos a controlar (control de velocidad, válvulas proporcionales, etc.) se seleccionó un PLC de la familia SIMATIC de SIEMENS de la gama "S7-300" [4], que es la gama media para aplicaciones de mediana envergadura, esta familia de PLC es de tipo modular, por lo cual permite adicionar diversos módulos complementarios, por ejemplo módulos de señales de entrada/salida, digitales/analógicos, módulos de comunicación, HMI, etc.

Las posibilidades de comunicación que ofrece SIMATIC van desde el protocolo más simple en los productos de automatización de SIEMENS que es el MPI hasta los protocolos más avanzados como son PROFIBUS y PROFINET.

Figura 4.8. SIMATIC S7-300



4.5 Identificación de las necesidades de protección del Centro de Control de Motores:

















PROTISA nos indica entre sus requerimientos que el Centro de Control de Motores estará ubicado a la intemperie, en una zona en la que fuera de invierno existe abundante polvo, adicionalmente las lluvias de invierno y la condición propia de la planta (tratamiento de agua) hace que el tablero esté eventualmente expuesto a chorros de agua. Por último, al tratarse de una empresa de índole sanitaria es indispensable que el gabinete del Centro de Control de Motores sea hecho en Acero Inoxidable.

Con la información que nos brinda PROTISA debemos determinar el Grado de Protección IP que debe poseer el Centro de Control de Motores, el cual calculamos según la Figura 3.4.

Según la figura el grado de protección debería ser de IP66, ya que cubriría la condición de nulo ingreso de polvo al tablero y ofrecería resistencia a chorros de agua sin permitir el ingreso de la misma al interior del tablero.

Adicionalmente, por pedido expreso del cliente, el Centro de Control de Motores poseerá techo a media agua para evitar la acumulación de agua en la parte superior del mismo.

Figura 4.9. Tabla de Grados de Protección IP

Indices de protección IP: Tabla de referencia							
Primera cifra característica				Segunda cifra característica			
Protección frente a partículas sólidas			Grado de protección a partes peligrosas:	Protección frente a partículas sólidas			Grado de protección a partes peligrosas:
I.P.	Ejemplo	PRUEBAS		I.P.	Ejemplo	PRUEBAS	
0		No protegida	Sin protección	0		No protegida	Sin protección
1		Mide la penetración de una esfera de 50 mm de diámetro. Protege contra contacto accidental	Inverso de la mano	1		Protegida contra la caída vertical de gotas de agua	Gotas vertical
2		Mide la penetración de una esfera de 12 mm de diámetro	Dedos u objetos análogos	2		Protegida contra la caída de gotas de agua con una inclinación máxima de 15°	Gotas vertical con una inclinación máxima de la vertical de hasta 15° con respecto a la posición normal
3		Mide la penetración de una sonda de 2.5 mm de diámetro	Herramientas	3		Protegida contra la lluvia fina (LUBRIFICADA)	Agua pulverizada (finísima) con una dirección de hasta 60° con la vertical
4		Mide la penetración de una sonda de 1 mm de diámetro	Alambres	4		Protegida contra las proyecciones de agua penetración limitada permitida	Proyección de agua en todas direcciones limitada
5		Protegida contra la penetración de polvo (acumulación no permitida)	Protección al polvo	5		Protegida contra los chorros de agua, penetración limitada permitida	Agua proyectada con la ayuda de una boquilla en todas las direcciones
6		Estanqueidad total al polvo	Estanqueidad total al polvo	6		Protegida contra fuertes chorros de agua o chorros de agua o chorros a mar gruesa	Fuertes chorros de agua o contra la más gruesa en todas las direcciones
				7		Protegida contra los efectos de la inmersión entre 150 mm y 1 m	Inmersión temporal
				8		Protegida contra la inmersión prolongada a las profundidades especificadas	Inmersión prolongada en agua bajo las condiciones especificadas por el fabricante*

CAPITULO 5

DISEÑO DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES

5.1 Diseño eléctrico

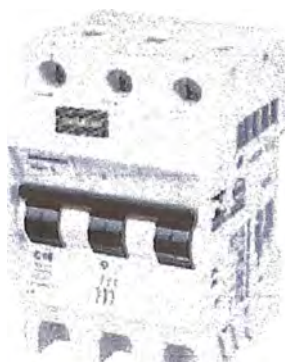
Para realizar el diseño eléctrico necesitamos, en primer lugar, conocer las características de la línea de suministro de energía eléctrica con la que cuenta el cliente en el lugar a ser instalado el CCM, con esta información se determinan las necesidades de los circuitos de alimentación de potencia y control.

Según las especificaciones del proyecto necesitamos disponer de una línea de 440 VAC trifásica a 60 Hz y dos monofásicas a 220 VAC y 110 VAC.

Generalidades:

Para todos los interruptores a excepción de los que van directos a los equipos que se van a controlar se decidió usar mini interruptores de propósito general de la familia 5SX2 de SIEMENS [6], con la correspondiente variación de modelo según las necesidades específicas que se presentaron.

Figura 5.1. Mini Interruptor automático de propósito general 5SX2



En adelante se utiliza, salvo casos específicos, Cable THHN/THWN-2 INDECO [7], tanto para fuerza como para control. Para control se utilizará el calibre más bajo disponible 14 AWG (15A). Y para fuerza el calibre se especificará según la necesidad de cada caso.

Como en todo tablero, es de vital importancia utilizar regletas de borne, ya sea de paso para conexiones internas o de conexión para conexiones externas. La especificación de los equipos de este proyecto necesitan en algunos casos las conexiones se realicen utilizando fusibles de propósito general, por lo cual además de usar borneras simples también se utilizaron borneras con portafusibles. Se seleccionaron las borneras con el siguiente criterio:

Para las borneras de uso simple, normalmente de control y de bajo amperaje se seleccionaron Borneras Atornillables de doble fila de la serie UKK de marca Phoenix Contact [8], tanto en la versión simple (modelo 2774017) como en la versión con portafusibles (modelo 6603007204).

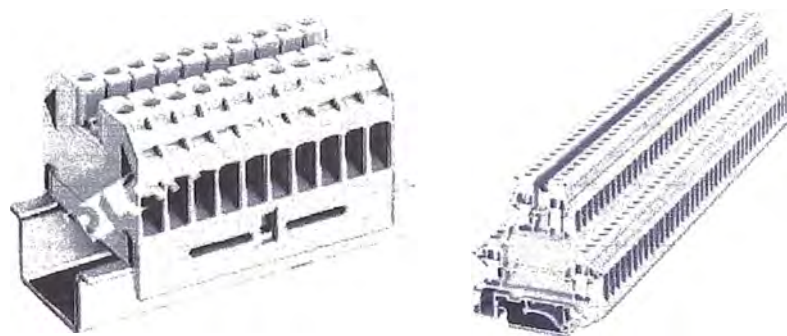
Para las borneras de alto amperaje se seleccionaron Borneras Atomillables de la familia 8WA1 de SIEMENS [9], del modelo 8WA1011-1DH1 hasta 32A, del modelo 8WA1011-1DG1 hasta 41 A, y el modelo portafusible 8WA1011-1SF12.

Para las borneras de conexión a tierra se seleccionaron Borneras Atomillables especiales para tierra con el característico color verde-amarillo, el modelo es 8WA1011-1PG00.

Para dividir en secciones las borneras se utilizó el Separador de borneras de 10mm SIEMENS modelo 8WA1808.

Las borneras portafusibles fueron cargadas con fusibles de vidrio de propósito general.

Figura 5.2. Borneras SIEMENS 8WA1 y Phoenix Contact UKK



Los relés auxiliares para fines de control que se utilizaron son del tipo RM84 de la marca RELPOL, trabajan en corriente alterna hasta 400 VAC.

A continuación se necesita establecer a grandes rasgos la interconexión física entre las diversas etapas o dispositivos que componen el sistema, para esto se establece la arquitectura del sistema, y posteriormente se hace la selección de dispositivos y a la vez se desarrollan individualmente los circuitos tanto de fuerza

como de control. Dentro de los circuitos de fuerza se consideran todas las necesidades de alimentación de voltaje. Dentro de los circuitos de control se consideran los circuitos de mando y los circuitos de interconexión de los componentes inteligentes (PLC, drives, etc.).

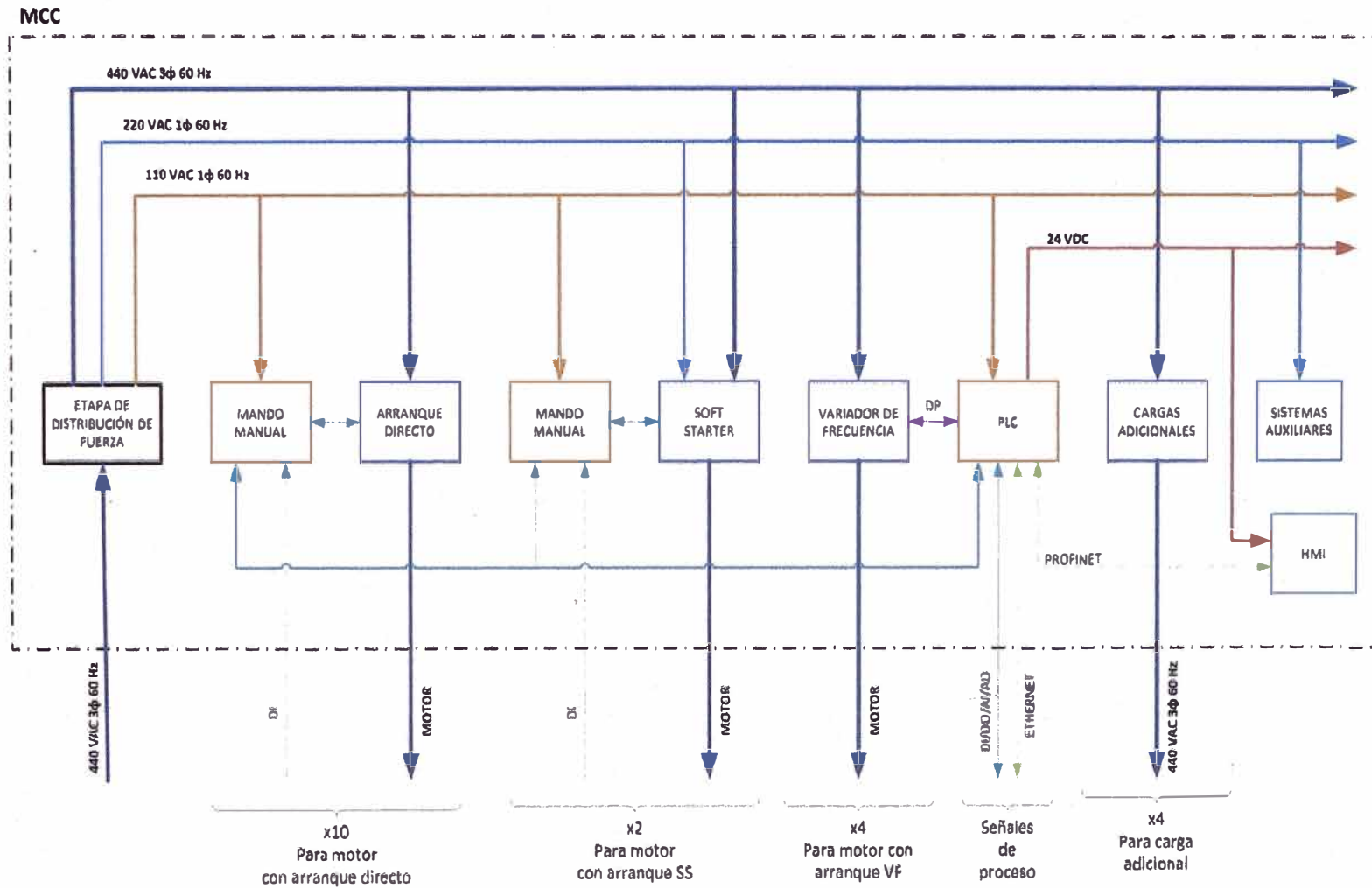
5.1.1 Arquitectura del sistema

Se muestra en la Figura 5.3 la arquitectura del sistema, se entiende que toda el área enmarcada en el rectángulo punteado es lo que comprende el MCC.

Se observan cinco grupos de salida, cuatro de fuerza y uno de control. Los cuatro grupos de salida de fuerza lo comprenden las salidas para los 10 Motores en Arranque Directo, los 2 motores en Arranque por Soft Starter, los 4 motores en Arranque por Variador de Frecuencia y las 4 cargas de alimentación solicitadas por el cliente. El grupo de salida de control son las salidas y entradas del PLC, aquí se concentran las señales tanto de notificación como activación de los indicadores de nivel y válvulas de proceso, adicionalmente también se deja abierto un enlace vía Ethernet para conexión opcional con el PCS de planta del cliente.

En este diagrama no se incluyen explícitamente los sistemas de indicación por medio de luces en las puertas.

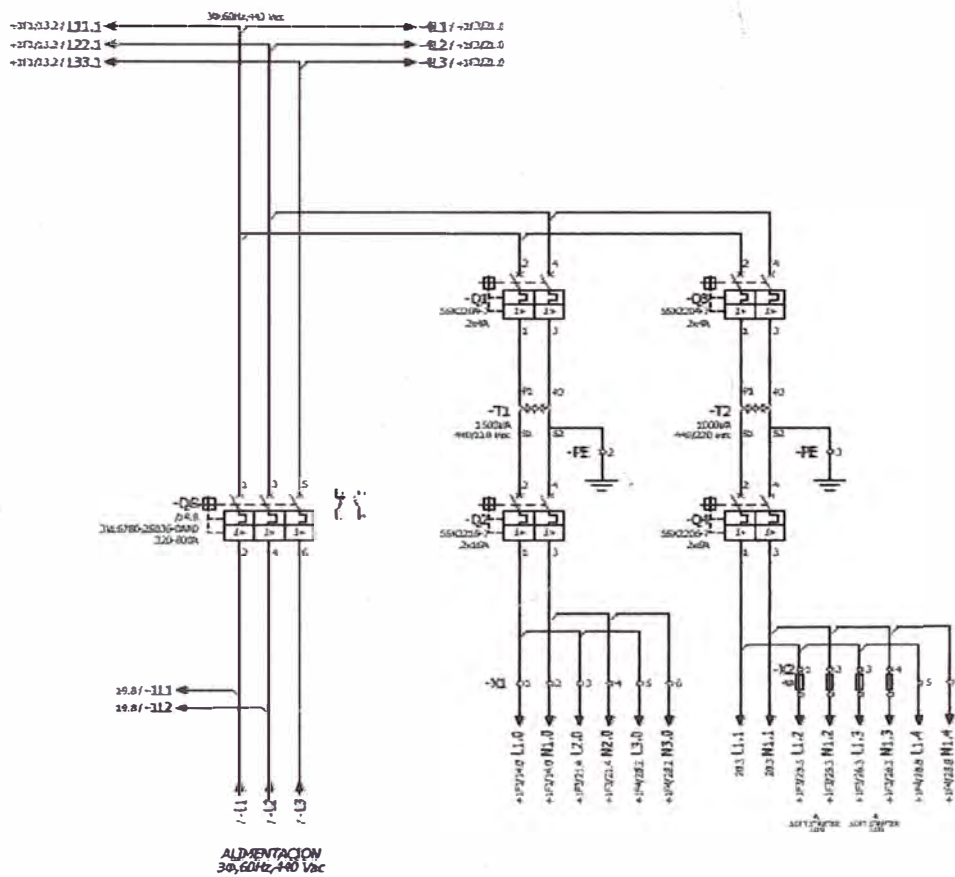
Figura 5.3. Arquitectura del sistema



5.1.2 Diseño de los circuitos de alimentación de potencia

En la Figura 5.4 se muestra el diseño de los circuitos de alimentación de potencia, es el circuito de distribución de voltaje, en el cual se muestra el interruptor general que se seleccionó previamente, que recibe el voltaje de entrada de planta a través de barras de cobre pintadas.

Figura 5.4. Circuito de alimentación de potencia





Se observa la salida principal de 440 VAC en la parte superior del circuito, también se muestra la salida de 110 VAC monofásico en tres pares que salen por la regleta de bornes simple X1 y 220 VAC monofásico en cuatro

pares, tres de estos van a la regleta de bornes de paso de bajo amperaje con portafusibles X2 con fusibles de 4A según recomendación de los equipos Soft Starter, todos estos pares están direccionados hacia los circuitos de control según se mostró en el gráfico de arquitectura del sistema.

Según la Figura 5.5 podemos determinar que, para la corriente de línea que se está considerando, 800 A, necesitamos contar con barras de cobre de sección 40x10 para poder conectar la entrada de fuerza.

Figura 5.5. Capacidad de barras de cobre

ANCHO X ESPEZOR	AREA mm ²	PESO kg/m	CORRIENTE ALTERNA 480V				CARACTERISTICAS DEL ELEMENTO			
			BARRAS							
			PINTADA		DEPILADA		I ₁ cm ⁴	W ₁ cm ³	I ₂ cm ⁴	W ₂ cm ³
			1 I	2 II	1 I	2 II				
12 x 2	23,5	0,209	123	202	108	182	0,0288	0,0480	0,000800	0,00800
15 x 2	29,5	0,262	148	240	128	212	0,0563	0,0750	0,00100	0,00100
15 x 3	44,5	0,396	187	316	162	282	0,0844	0,113	0,00388	0,0225
20 x 2	39,5	0,351	189	302	162	264	0,133	0,133	0,00133	0,0133
20 x 3	59,5	0,529	237	394	204	348	0,200	0,200	0,00450	0,0300
20 x 5	99,1	0,662	319	560	274	500	0,333	0,333	0,0206	0,0633
20 x 10	199	1,77	497	924	427	825	0,667	0,667	0,167	0,333
25 x 3	74,5	0,663	287	470	245	412	0,391	0,313	0,00563	0,0375
25 x 5	124	1,11	384	662	327	586	0,651	0,521	0,0260	0,104
30 x 3	89,5	0,788	337	544	285	476	0,675	0,450	0,00675	0,0450
30 x 5	149	1,33	447	780	379	672	1,13	0,750	0,0313	0,125
30 x 10	299	2,66	676	1200	573	1060	2,25	1,50	0,250	0,500
40 x 3	119	1,06	435	692	366	600	1,60	0,800	0,00800	0,0800
40 x 5	199	1,77	573	952	482	836	2,67	1,33	0,0417	0,167
40 x 10	399	3,55	850	1470	715	1280	5,33	2,67	0,333	0,667
50 x 5	249	2,22	697	1140	583	954	5,21	2,06	0,0521	0,206
50 x 10	499	4,44	1020	1720	852	1510	10,4	4,17	0,417	0,833
60 x 5	299	2,66	826	1330	688	1150	9,00	3,00	0,0625	0,250
60 x 10	599	5,33	1180	1980	985	1720	18,00	6,00	0,500	1,00
80 x 5	399	3,55	1070	1680	885	1450	21,3	5,33	0,0833	0,33
80 x 10	799	7,11	1500	2410	1240	2110	42,7	10,7	0,067	1,33
100 x 5	499	4,44	1300	2010	1080	1730	41,7	8,33	0,104	0,417
100 x 10	999	8,89	1810	2860	1490	2480	83,3	16,66	0,833	1,67
120 x 10	1200	10,7	2110	3280	1740	2860	144	23,9	1,00	2,00
160 x 10	1600	14,2	2700	4130	2220	3590	341	42,7	1,33	2,67
200 x 10	2000	17,8	3290	4970	2680	4310	667	66,7	1,67	3,33

Para los niveles de voltaje de control se decidió asignar 4A para cada etapa de voltaje de control y correspondientemente transformadores de 1.5 kVA y 1 kVA a cada uno de ellos.

5.1.3 Diseño de los circuitos de arranque de motores

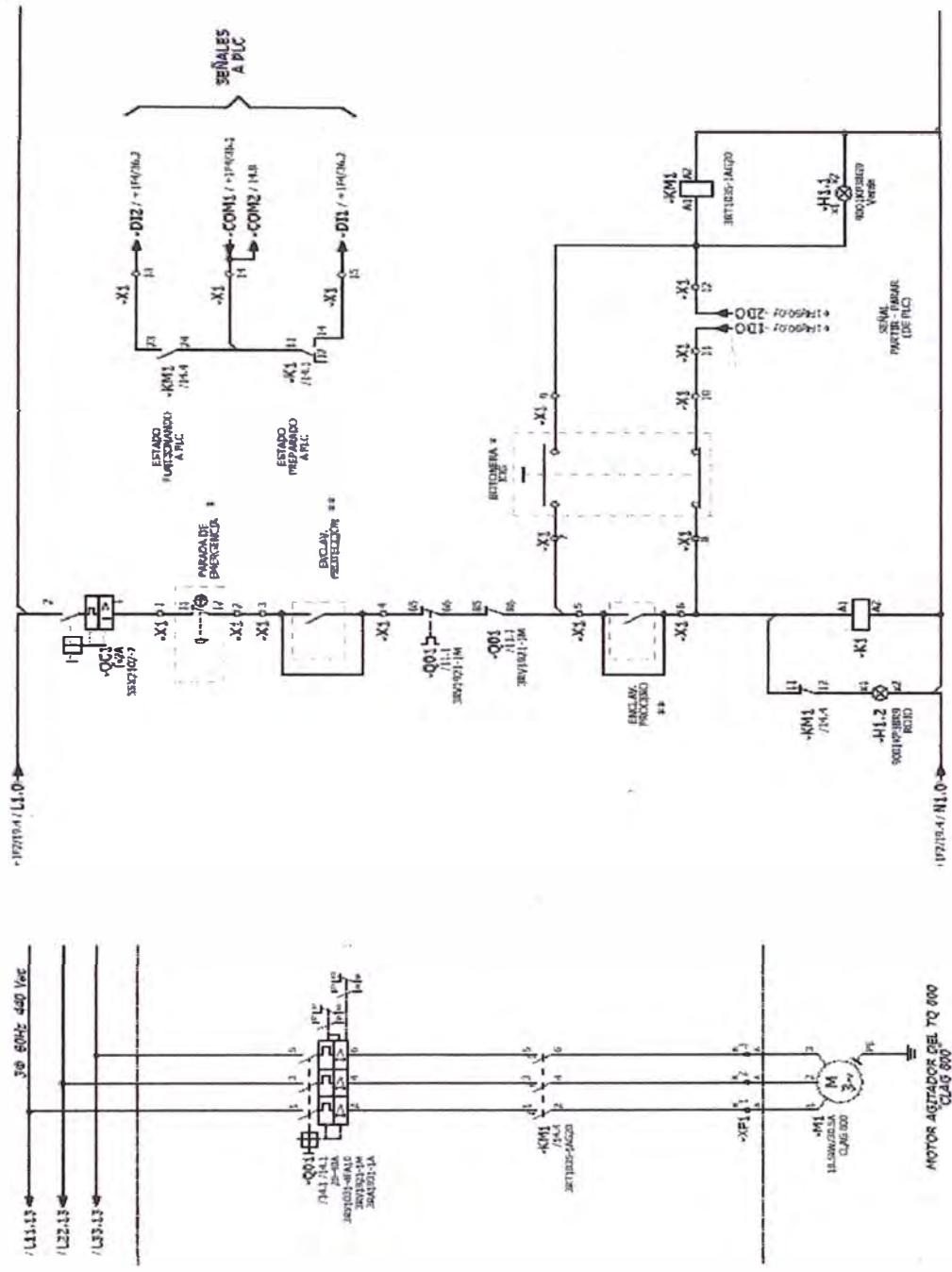
5.1.3.1 Arranque Directo:

En la Figura 5.6 se muestra un circuito correspondiente a un arranque directo de motor.

Se observa, en el circuito de fuerza, que la alimentación del motor está gobernada por el guardamotor, en este caso Q01, y la activación del motor depende del contactor, en este caso KM1, este contactor es del tipo 3RT de SIEMENS, que es el contactor complemento al guardamotor de la familia SIRIUS, su especificación depende de la especificación del guardamotor. Este guardamotor es gobernado por una bobina que es parte del circuito de mando. Los bornes de conexión, hacia los motores, en este tipo de arranque se llevará a cabo a través de las regletas de bornes de alto amperaje XF, en este caso particular XF1.

El circuito de mando, en 110 VAC monofásico, indica que es alimentado por el interruptor de alimentación, en este caso QC1. El circuito puede ser abierto usando la parada de emergencia, al dispararse el relay de sobrecorriente y sobrecalentamiento de Q01, se ha dejado puenteados dos criterios más de apertura o enclavamiento del circuito de acuerdo a las bases técnicas.

Figura 5.6. Circuito de mando y fuerza para arranque directo



La bobina KM1 que controla el motor a su vez controla las alarmas luminosas de funcionamiento (luces roja y verde). Esta bobina, junto a la auxiliar K1 envían al PLC señales de estado de operación.

La botonera JOG, que es un accionamiento de dos posiciones, sirve para seleccionar el modo de operación, si manual o automático, en el caso automático el control lo tiene el PLC vía las DO (Digital Output) que forman parte del circuito. El modo manual quedaría determinado por el enclavamiento de seguridad.

Los equipos dentro de un recuadro punteado no han sido implementados por FAMETAL según la especificación técnica del cliente, esto comprende la botonera JOG y los enclavamientos de seguridad y proceso. Sin embargo se ha dejado los enclavamientos y el espacio de la botonera punteados, en el caso de la botonera se ha dejado en la posición de control automático.

Todas las señales de interconexión para este circuito se manejaron usando la regleta de bornes simple X1, y para la conexión del motor se usó la regleta de medio amperaje XF1.

Los circuitos de la Figura 5.6 junto a su lógica de funcionamiento son replicados para los 10 casos de arranque directo.

5.1.3.2 Arranque por Soft Starter:

En la Figura 5.7 se muestra un circuito correspondiente a un arranque suave de motor.

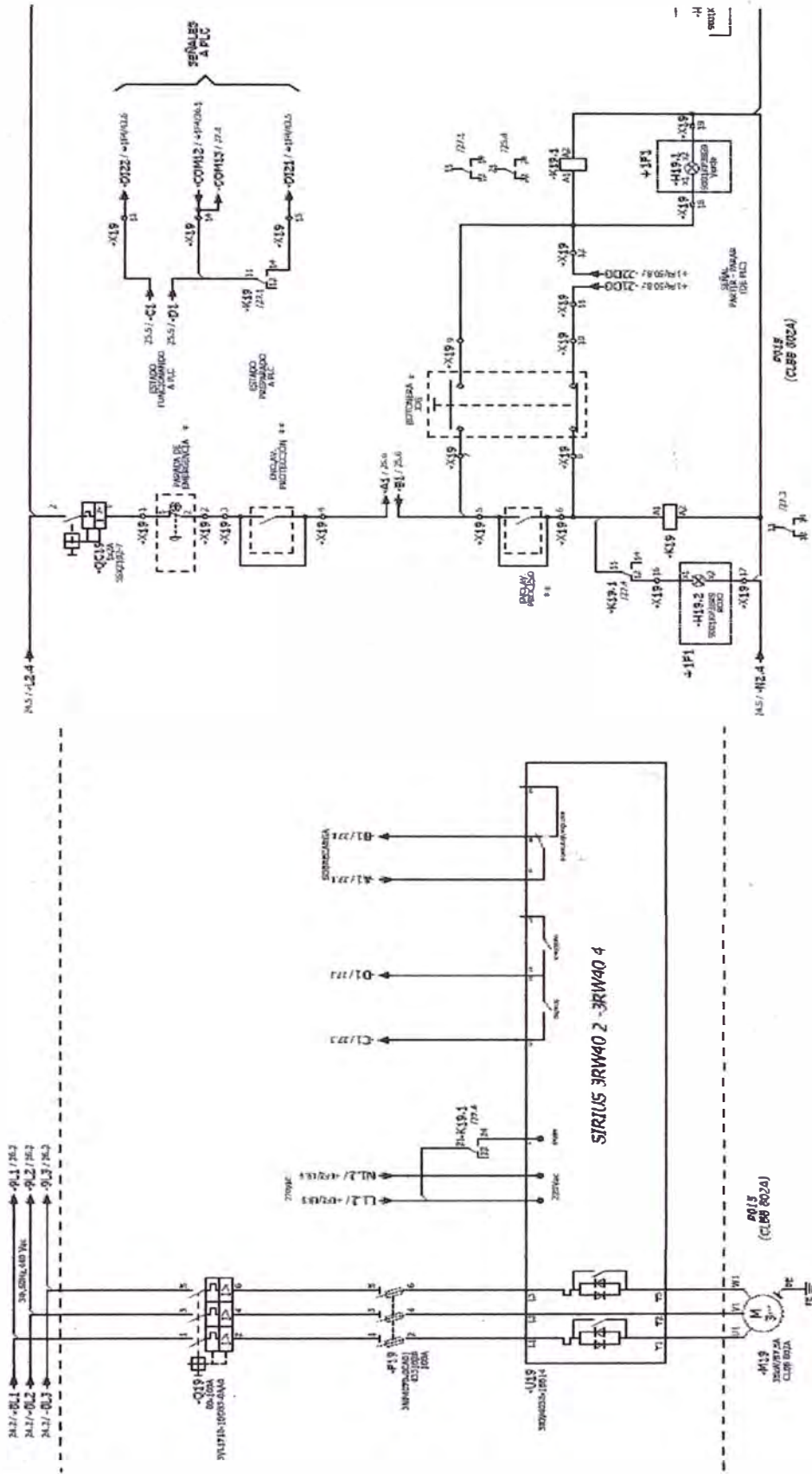
La alimentación del circuito de fuerza está gobernada por el Interruptor Automático tipo 3WL Q19.

Por recomendación del fabricante en la entrada de alimentación al arrancador se usan fusibles de reacción ultrarrápida con capacidad a la par del interruptor, en este caso 100A, estos fusibles están montados en un seccionador fusible de SIEMENS, esto a fin de poder remplazar de manera sencilla los fusibles de ser necesario.

El arranque del motor está gobernado por el contactor auxiliar K19.1. El Soft Starter envía señales de estado y sobrecarga al circuito de mando.

El circuito de mando trabaja casi de forma idéntica al circuito de mando explicado en el arranque directo, la diferencia se centra en que en este caso la señal de sobrecarga que envía el Soft Starter hace las veces de los relays del guardamotor del caso anterior, y la señal de estado que envía el Soft Starter es enviado al PLC en lugar de enviar sólo el estado de la bobina de activación K19.1 como en el caso anterior.

Figura 5.7. Circuito de mando y fuerza para arranque por Soft Starter



Todas las señales de interconexión para este circuito se manejaron usando la regleta de bornes simple X19.

Los circuitos de la Figura 5.7 junto a su lógica de funcionamiento son replicados para los 2 casos de arranque suave.

5.1.3.3 Arranque por Variador de Frecuencia

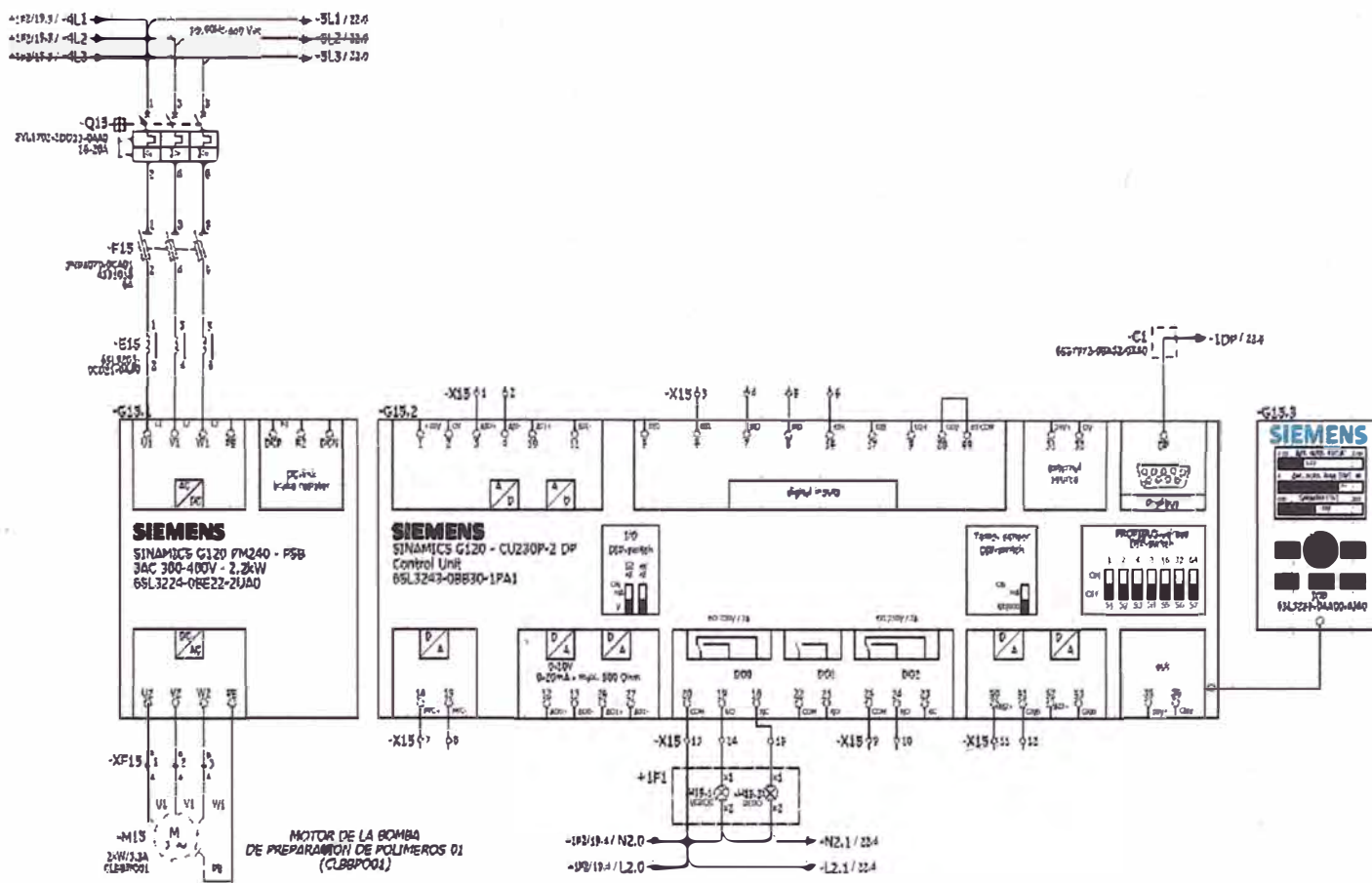
En la Figura 5.8 se muestra un circuito correspondiente a un arranque por Variador de Frecuencia.

La alimentación del circuito está gobernada por el Interruptor Automático tipo 3WL, Q15, la selección de este equipo ya se realizó anteriormente.

En el circuito figuran el módulo de potencia ya seleccionado anteriormente PM 340 y el módulo de control estándar parte de la misma familia de variadores SINAMICS CU-230P.

En la línea de alimentación también se aprecia una Reactancia de Línea recomendada y provista por SIEMENS dentro de su línea de variadores SINAMICS. La función de esta Reactancia de Línea es reducir las perturbaciones del sistema en la línea de alimentación, esta reactancia es seleccionada de acuerdo a la potencia del módulo de potencia.

Figura 5.8. Circuito de Arranque por Variador de Frecuencia



S

Se observa también el mando manual en la parte derecha, este es un panel de control que va montado dentro del tablero encima del propio drive para poder hacer configuraciones sin PC o detectar códigos de error.

Se puede observar que las salidas digitales tipo contacto del variador son usadas para la señalización de funcionamiento vía luces, y que el variador se comunica con el PLC a través del protocolo PROFIBUS (DP).

Todas las señales de interconexión para este circuito se manejaron usando la regleta de bornes simple X15 y la conexión al motor se hizo a través de la regleta de mediano amperaje XF15.

Los circuitos de la Figura 5.8 son replicados para los 4 casos de arranque por variador de frecuencia.

5.1.3.4 Cargas Adicionales

Los circuitos son básicamente de conexión entre la línea de fuerza de 440VAC y las borneras usando un guardamotor por carga.

En este caso no queda más que reseñar que los guardamotors ya se seleccionaron previamente y que la conexión con las cargas se hace a través de las regletas de bornes de mediano amperaje desde XF11 hasta XF14.

5.1.4 Diseño de los circuitos de conexionado de módulos inteligentes

Por módulos inteligentes se entiende el PLC con todos sus componentes. Ya previamente se decidió usar un PLC de la familia SINAMICS S7-300. En este proyecto el PLC necesita contar con los siguientes componentes:

- Módulo de alimentación.
- CPU
- Módulo de entradas y salidas digitales y analógicas.
- HMI
- Módulos de comunicación adicional.

De acuerdo a la aplicación se decidió utilizar una *CPU 313C-2DP*, que es una CPU de propósito general con comunicación PROFIBUS, esto último es muy importante debido a ser este el protocolo de comunicación que manejan los Variadores de Frecuencia.

Para el módulo de alimentación se consideró una fuente estándar de la familia SINAMICS de 10 A, con entrada en 110VAC monofásica y salida en 24VDC, el modelo es *PS 307 10A [5]*. Esta CPU cuenta por defecto con 16 entradas digitales a 24 VDC y 16 salidas digitales al mismo voltaje.

En el caso de las entradas y salidas, analógicas y digitales se hizo uso de la tabla de señales facilitada por el cliente, de la cual se obtuvo el resumen que se muestra en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Resumen de entradas y salidas

Tipo	Nivel	Cantidad
DI	24VDC	39
DO	24VDC	10
DO	110VAC	12
AI	4-20 mA	7
AO	4-20 mA	5

Para el caso de las DI, 16 de ellas son cubiertas por las que posee el CPU, por lo cual restarían 23 DI por cubrir, lo cual se cubrió con un módulo *SM321 DI32 x DC24V [5]*, quedando 9 entradas de reserva.

Para el caso de las DO, las 10 que van a 24VDC son cubiertas por las DO del CPU. Las 12 DO a 110 VAC restantes se cubrieron con un módulo *SM322 DO 16 x AC120/230V/1A [5]*, quedando 4 salidas de reserva. Todas las salidas digitales fueron diseñadas para activar contactores según se especificó previamente.

Para el caso de las AI, las 7 existentes fueron cubiertas por un módulo *SM331 AI 8 x 13 BIT [5]*, quedando 1 entrada analógica de reserva.

Para el caso de las AO, las 5 existentes fueron cubiertas por un módulo *SM332 AO 8 x 12 BIT [5]*, quedando 3 salidas analógicas de reserva.

Se especificó que el proyecto contaría con un HMI Touch Panel de 10", por lo cual se seleccionó un panel *KTP1000 [5]*, que es TFT táctil de 10" y cuenta con conexión PROFINET.

El protocolo de comunicación PROFIBUS en el caso del CPU fue el parámetro determinante para su selección, por lo cual se dejó de lado el protocolo PROFINET, el protocolo PROFINET es el segundo en importancia debido a que es el medio de comunicación con el HMI y el medio de comunicación a la Red Industrial existente a fin de conectarse con el PCS del cliente en planta. Debido a esta necesidad de comunicación se seleccionó un módulo de comunicación extendida *CP343-1 Lean [5]*, el cual se comunica al CPU via MPI y cuenta con dos salidas PROFINET, una para el HMI y otra para comunicación externa.

Como el cliente ha especificado que necesita poder comunicarse a futuro con el PCS que tiene en planta fue necesaria la selección de un Switch Industrial del tipo *SCALANCE X101 [5]*, al cual se comunica el sistema vía PROFINET.

En la Tabla 5.2 se indica el resumen de componentes del PLC.

Tabla 5.2. Componentes del PLC

Modelo	Descripción
PS 307 10ª	Fuente de Poder
CPU 313-2DP	Unidad de Procesamiento Central
CP 343-1 Lean	Módulo de comunicación extendida
SM321 DI32 x DC24V	Módulo de entradas digitales
SM322 DO 16 x AC120/230V/1A	Módulo de salidas digitales
SM331 AI 8 x 13 BIT	Módulo de entradas analógicas
SM332 AO 8 x 12 BIT	Módulo de salidas analógicas
KTP1000	Touch Panel TFT de 10"
SCALANCE X101	Switch de comunicación industrial

A partir de la Figura 5.9 hasta la Figura 5.14 se muestran los esquemas de comunicación de los componentes del PLC.

Figura 5.9. Conexión Fuente, CPU y Módulo de comunicación extendida

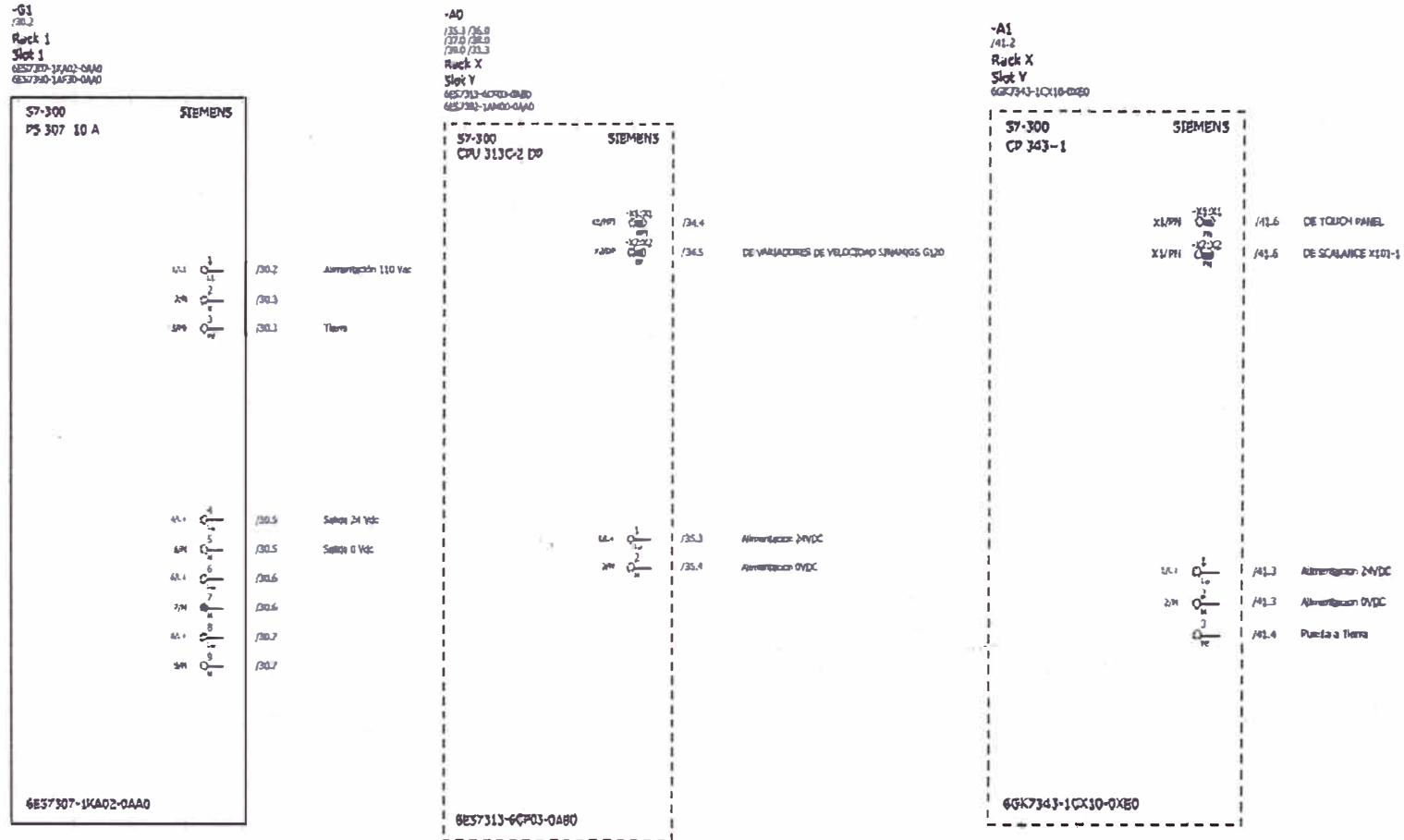


Figura 5.10. Conexión Módulos de entrada y salida digital propias de la CPU

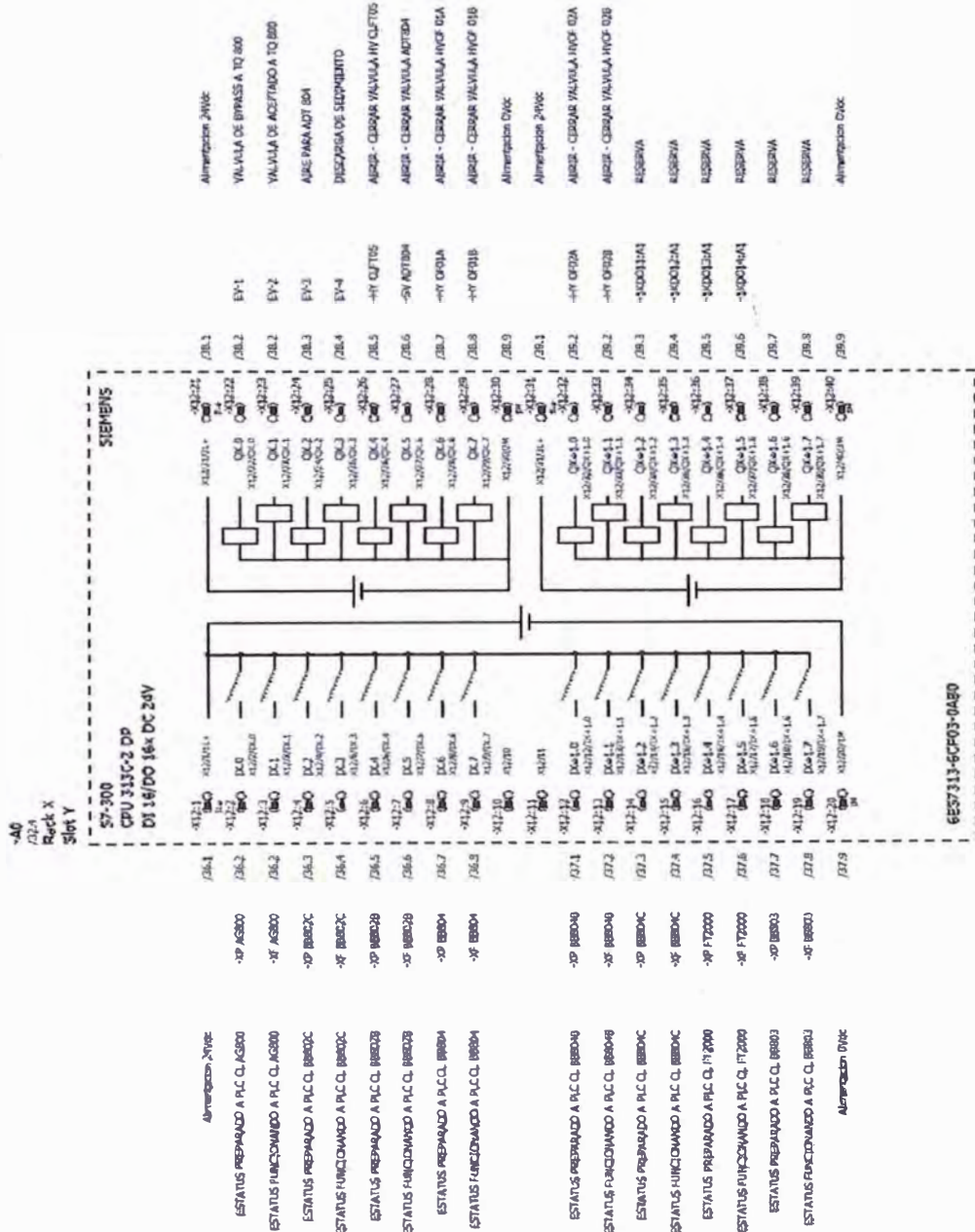
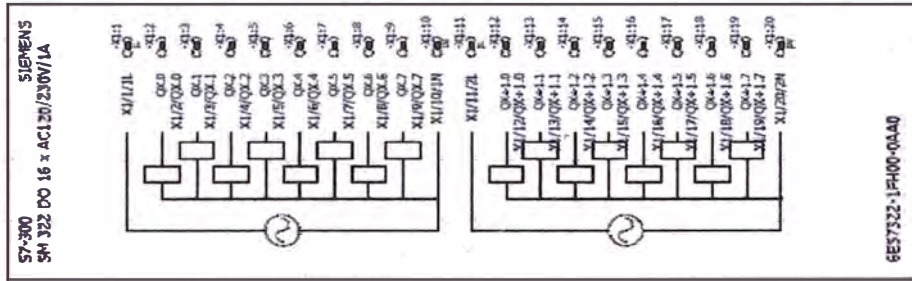


Figura 5.12. Conexión Módulo de Salidas Digitales

-A3
 /AL0 /A5.0
 Rev. 1
 Step 4
 6ES7322-1FH00-0AA0
 6ES7322-1A300-0AA0



PARTR - PAPA8 C. AG 800
 PARTR - PAPA8 C. BB00C
 PARTR - PAPA8 C. BB00E
 PARTR - PAPA8 C. BB00H
 PARTR - PAPA8 C. BB00G
 PARTR - PAPA8 C. BB00C
 PARTR - PAPA8 C. F1200
 PARTR - PAPA8 C. BB00I

-S AG800
 -S BB00C
 -S DD0C7B
 -S BB004
 -S BB00B
 -S BB00C
 -S F1200
 -S BB00I

PARTR - PAPA8 C. BB000
 PARTR - PAPA8 C. BB00E
 PARTR - PAPA8 C. BB00A
 PARTR - PAPA8 C. BB00I
 RESERVA
 RESERVA
 RESERVA
 RESERVA

Figura 5.13. Conexión Módulo de Entradas Analógicas

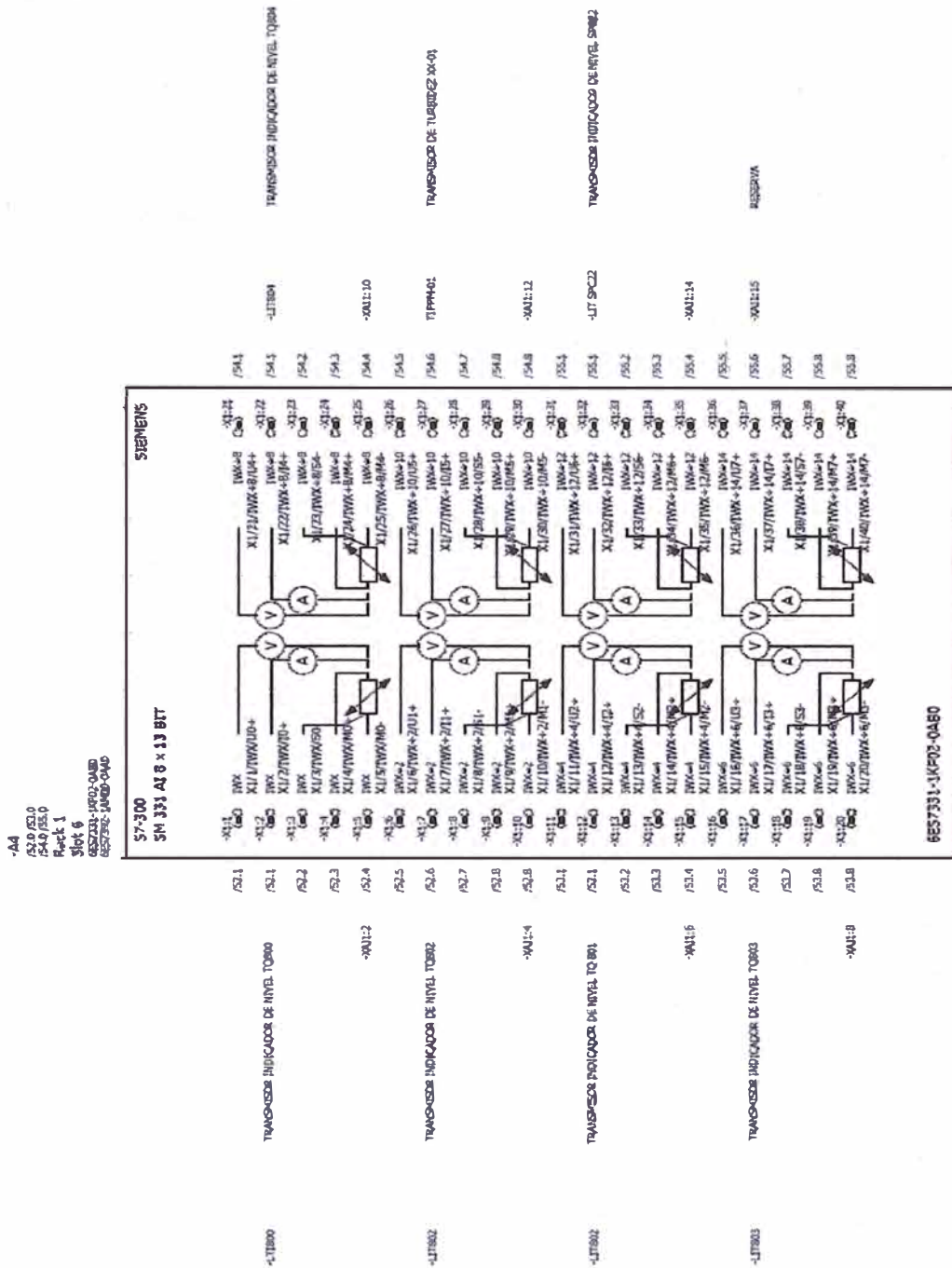
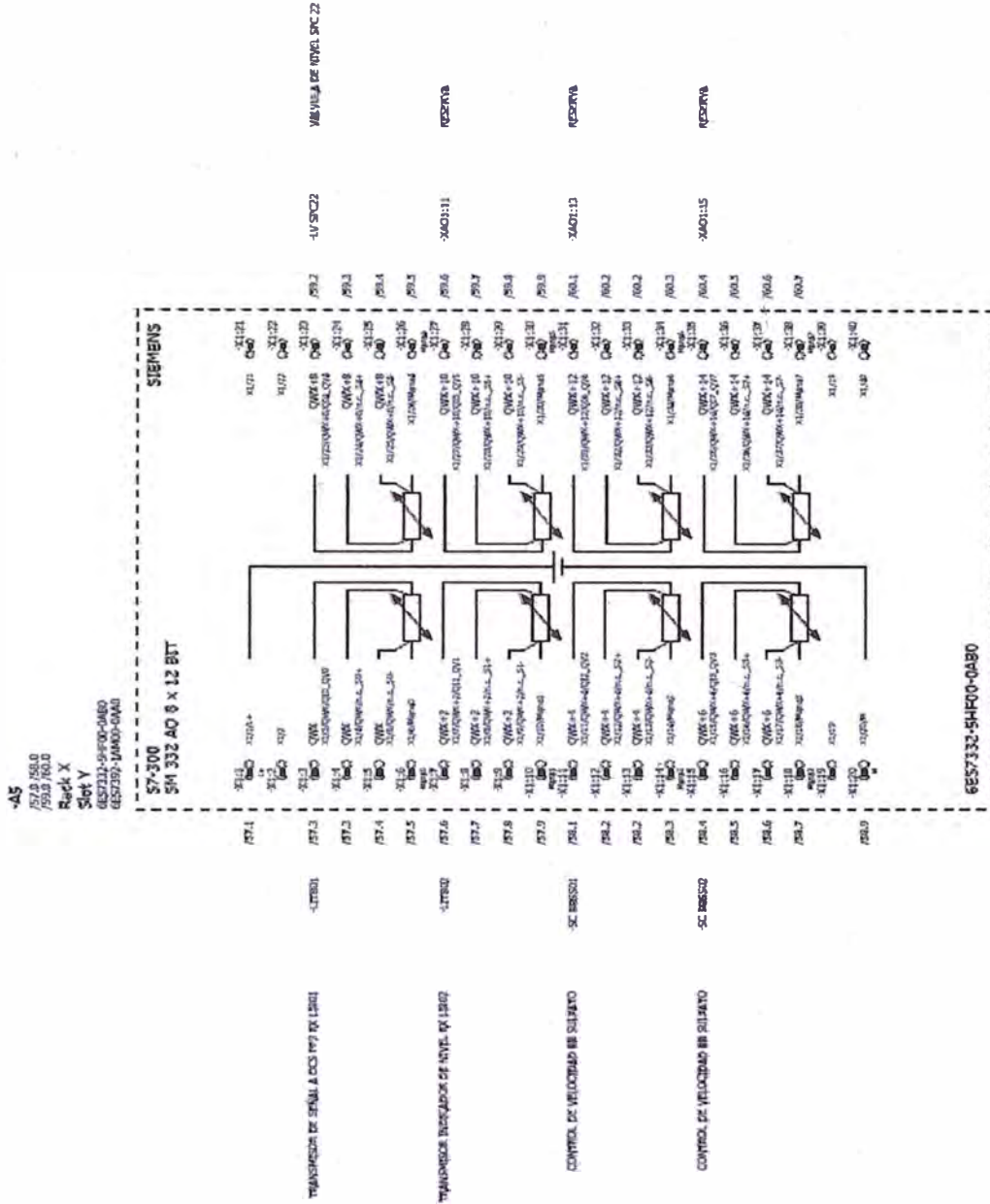


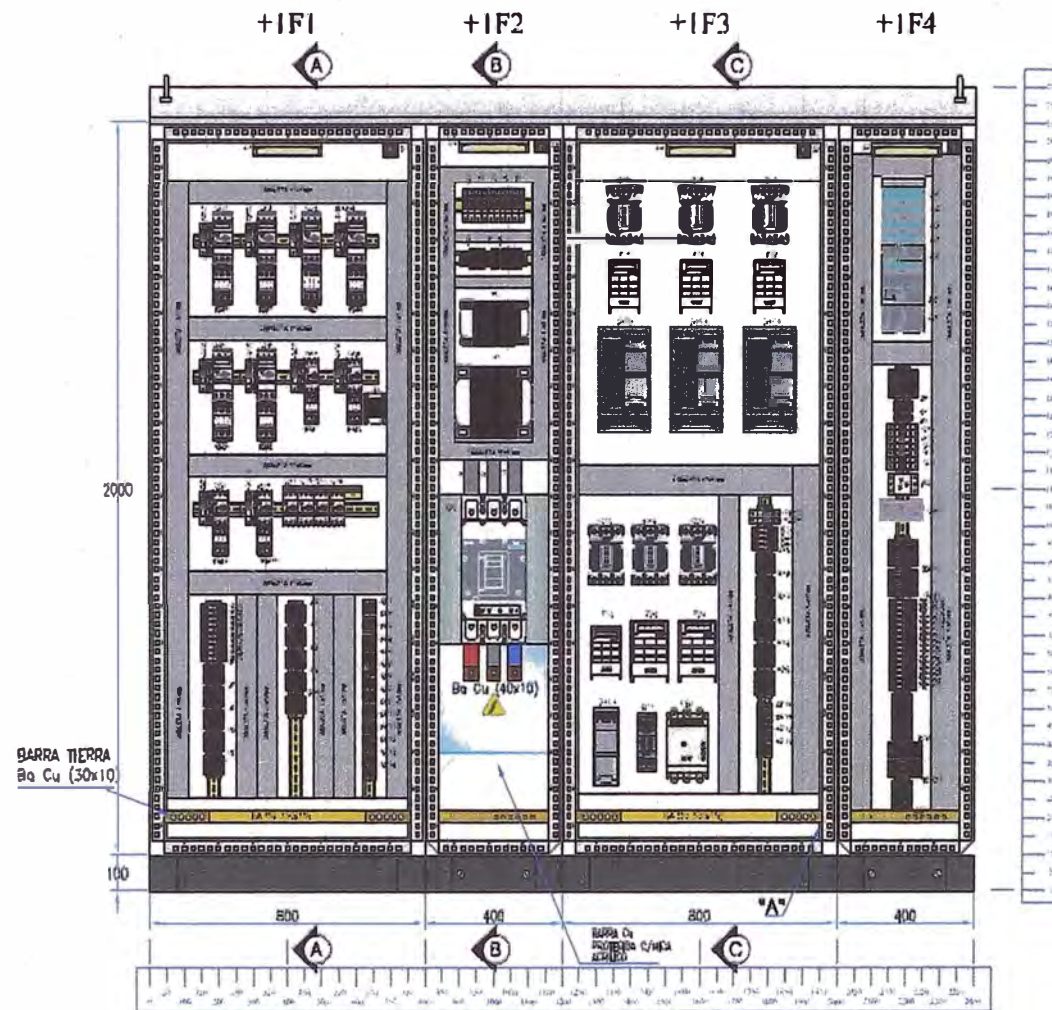
Figura 5.14. Conexión Módulo de Salidas Analógicas



5.2 Diseño Mecánico

El diseño mecánico cubre básicamente la fabricación de un gabinete metálico, las dimensiones de este gabinete dependen tanto de las especificaciones técnicas del cliente como de la distribución de equipos dentro del gabinete, por lo cual en primer lugar se realizó la distribución de componentes y luego el diseño en sí de los gabinetes metálicos.

Figura 5.15. Distribución de los componentes eléctricos en los gabinetes



El ruteo de cables se hizo mediante el uso de canaletas plásticas de propósito general, en tres medidas 45x45 cuando el cableado es mínimo, 60x80 cuando la cantidad de cableado es regular y 80x80 cuando la cantidad de cableado es abundante, esto último se da normalmente a la hora de manejar señales de entrada y salida del sistema.

La distribución de componentes se ha realizado de manera intuitiva, cuidando que el ordenamiento de equipos sea lógico y dejando todos los bornes de acceso del cliente en la parte baja del tablero, lo cual concuerda a que la entrada y salida de cables se realice por el piso del tablero.

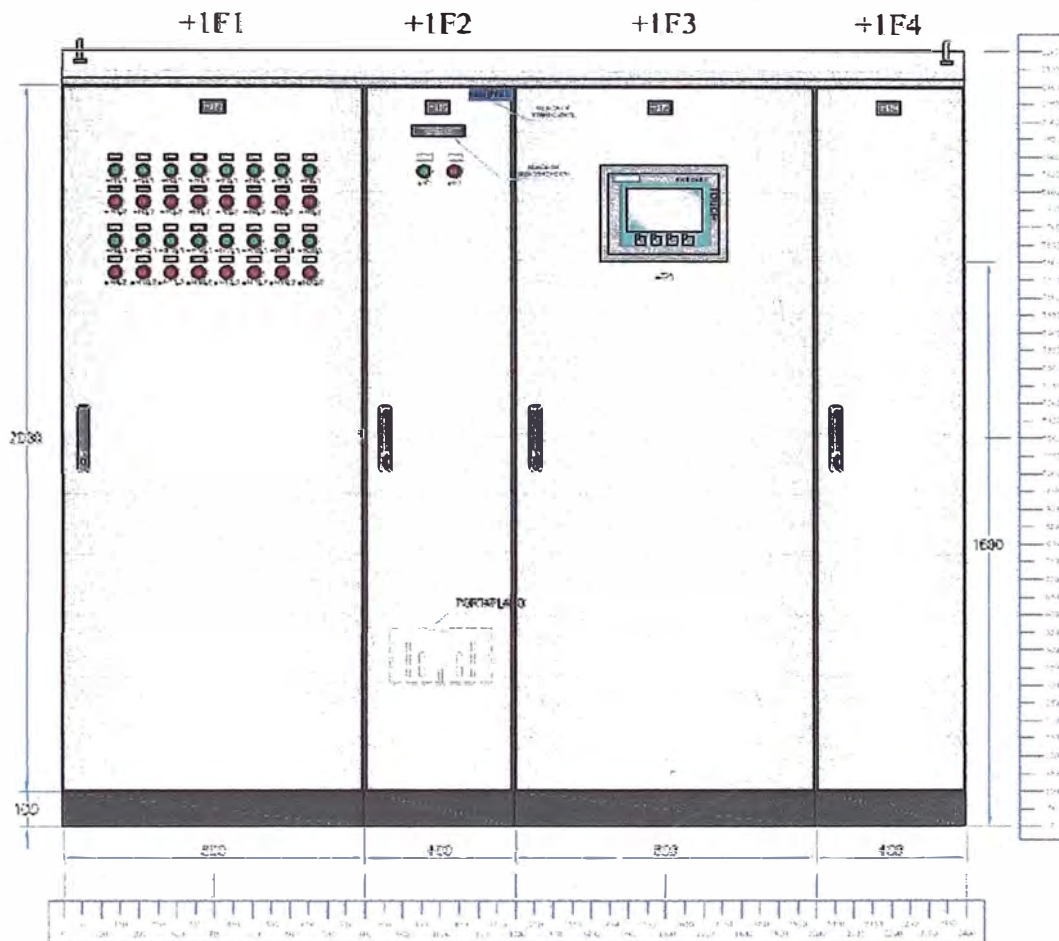
5.2.2 Diseño de los gabinetes metálicos

El gabinete podía ser simplemente comprado a un fabricante de tableros como Rittal o Bticino, sin embargo, al tratarse de un diseño especial por el techo inclinado y la fabricación en acero inoxidable los tiempos de entrega eran demasiado elevados, por lo cual se decidió utilizar un gabinete personalizado de la línea de gabinetes autosoportados que fabrica FAMETAL.

De acuerdo a la distribución de equipos realizada se diseñó un gabinete metálico en acero inoxidable de cuatro cuerpos con dimensiones 2400x(2000+100)x600, con techo inclinado y zócalo de 100 mm, lo cual va acorde a la especificación técnica del cliente.

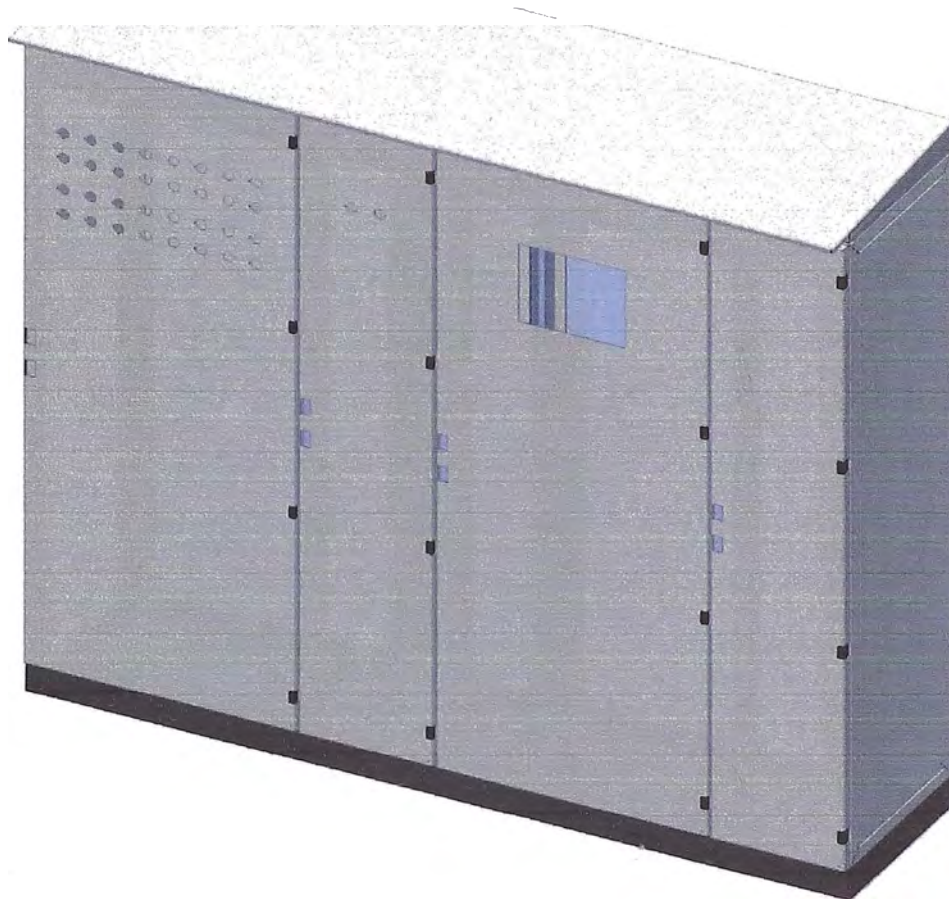
En la Figura 5.16 se observa el detalle de las puertas de acuerdo a la especificación del cliente. Se observan las luces indicativas y el HMI.

Figura 5.16. Vista frontal del CCM a puertas cerradas.



Con la distribución de componentes y el detalle de las puertas se procedió a diseñar un gabinete personalizado como se muestra en la Figura 5.17, este gabinete está basado en la estructura que se muestra en la Figura 5.18, tanto la estructura como las puertas o tapas son fabricadas en chapa metálica doblada y unidas por soldadura eléctrica, en este caso la chapa metálica usada fue de Acero Inoxidable AISI 304 de 2.0 mm.

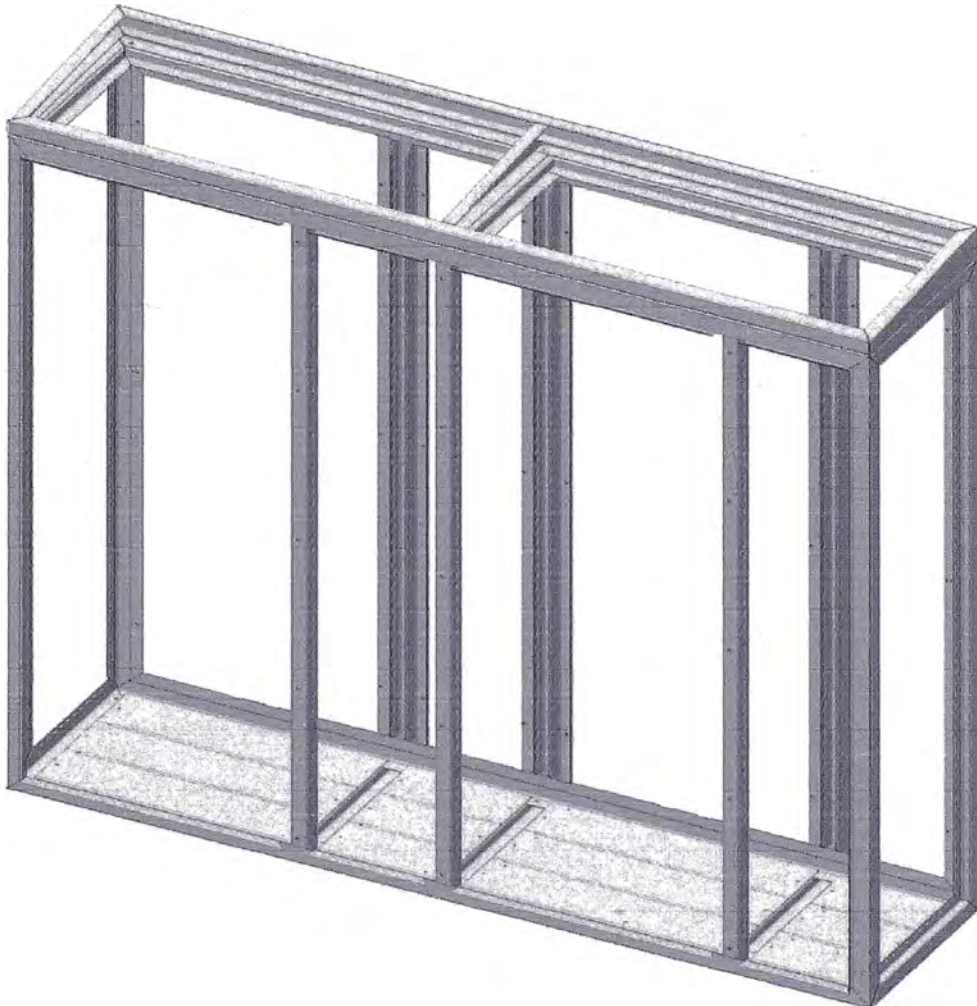
Figura 5.17. Modelo 3D del gabinete metálico



El gabinete cuenta con cuatro puertas con apertura a derechas, dos tapas laterales y cuatro tapas posteriores todas desmontables.

El gabinete cuenta con empaquetaduras tanto en las tapas como en las puertas y accesorios auxiliares internos para asegurar el grado de hermeticidad solicitado por el cliente, que en este caso es de grado IP 66.

Figura 5.18. Estructura base de los gabinetes



La estructura base de este gabinete se muestra en la Figura . todos los elementos han sido diseñados en chapa metálica doblada, FAMETAL cuenta con una línea de tableros autoportados fabricados con la misma forma estructural, sólo que de un solo cuerpo. Los elementos individuales (como columnas o travesaños) son unidos mediante soldadura eléctrica.

Se observa que el piso es desmontable en tres partes por cada cuerpo, esto obedece a la indicación del cliente de manejar la entrada y salida de cables por la parte inferior.

CAPÍTULO 6

IMPLEMENTACIÓN DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES

6.1 Fabricación de los gabinetes metálicos

FAMETAL cuenta con máquinas CNC para el punzonado y plegado de piezas de chapa metálica, cuenta con una punzonadora CNC de la marca TRUMPF de serie TRUPUNCH 1000 que se muestra en la figura 6.1, dicha punzonadora trabaja con los planos de los desplegados de las piezas, un ejemplo de un programa de corte se muestra en la figura 6.2, el cual ilustra una plancha metálica de acero inoxidable que contiene muchas de las piezas individuales de los gabinetes programada para ser cortada y punzonada.

La programación del punzonado consiste en insertar las piezas metálicas desplegadas en planchas enteras de metal y generar la secuencia de uso de las herramientas de punzonado.

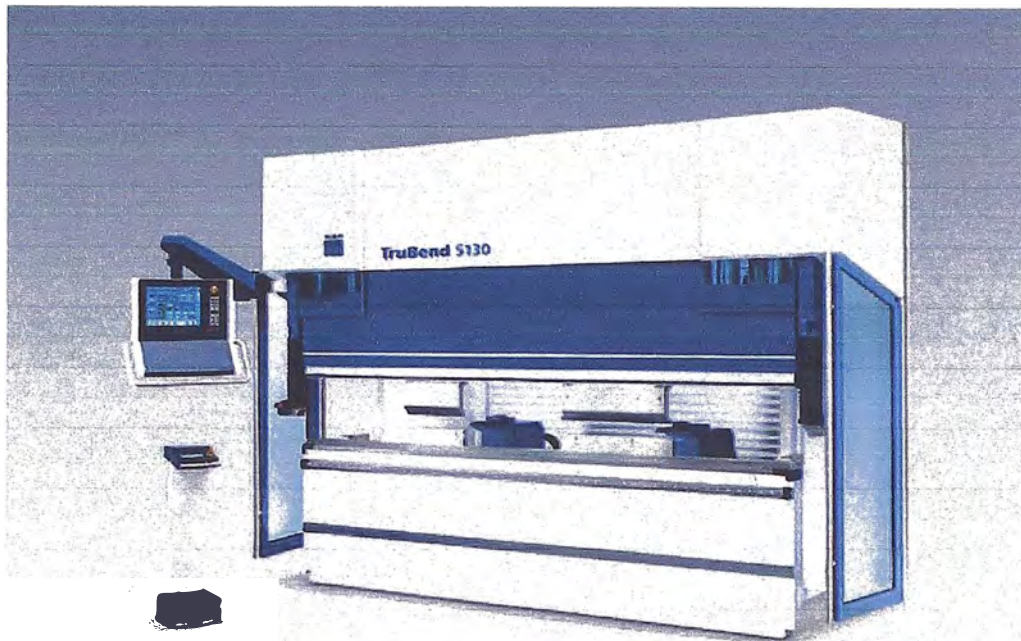
Figura 6.1. Trupunch 1000



Figura 6.2. Muestra de programa de punzonado



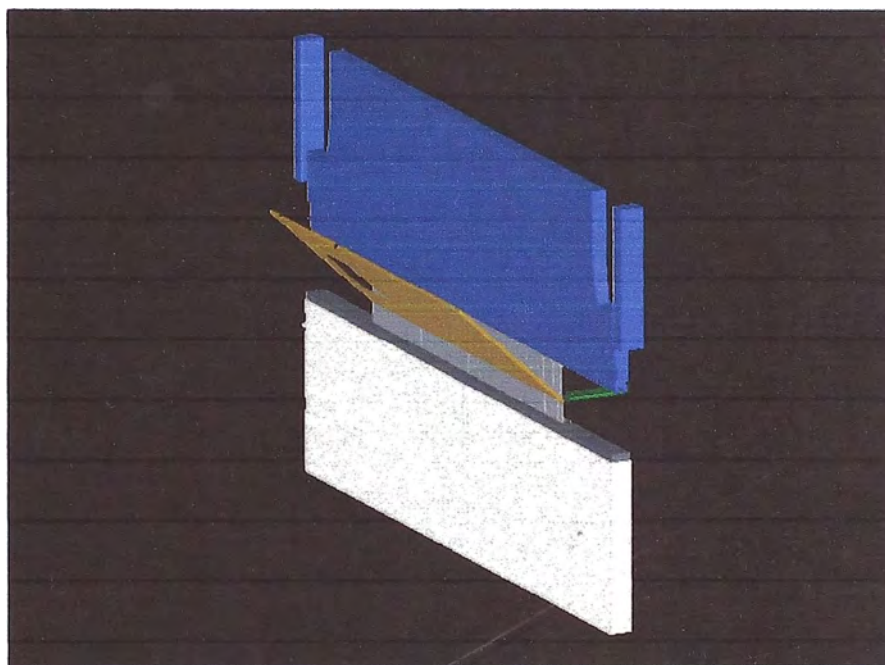
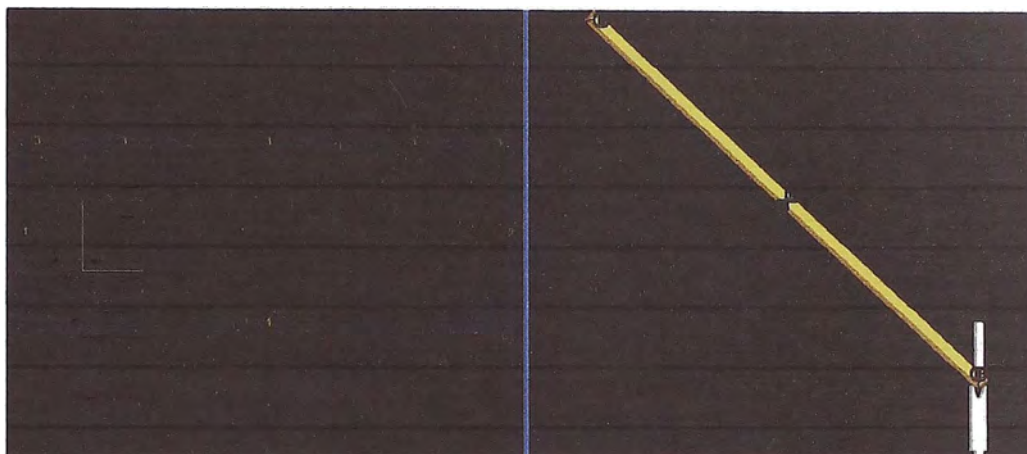
FAMETAL también cuenta con una máquina dobladora de la marca TRUMPF y de la serie TRUBEND 5130, la cual se muestra en la Figura 6.3.

Figura 6.3 Trubend 5130

En la Figura 6.4 se muestra un ejemplo de programación de doblado de una pieza de los gabinetes, por razones obvias no se puede cubrir con el doblado de cada una de las piezas, pues excedería la extensión recomendada para este informe, sin embargo los esquemas son suficientemente ilustrativos para dejar en claro la idea.

Cabe indicar que en la elaboración del gabinete metálico se utilizaron 11 planchas de acero inoxidable de 1200 mm x 2400 mm x 2 mm, incluyendo placas y accesorios de montaje y contando con los retazos generados en el corte.

Figura 6.4. Ejemplo de plegado de una puerta del gabinete



Se observa en la parte superior la pieza desplegada que indica el orden de plegado junto a una vista de perfil del punzón y matriz (en blanco) y la pieza en el último dobléz (en amarillo), en la parte inferior se muestra una vista 3D del último dobléz realizado.

Figura 6.5. Guardamotores montados

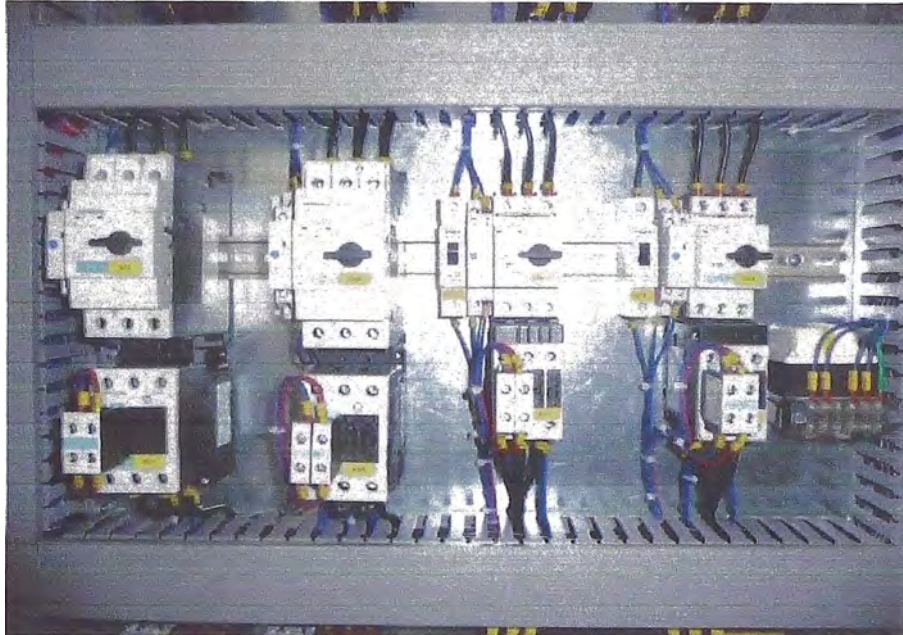


Figura 6.6. Bomeras en pleno montaje

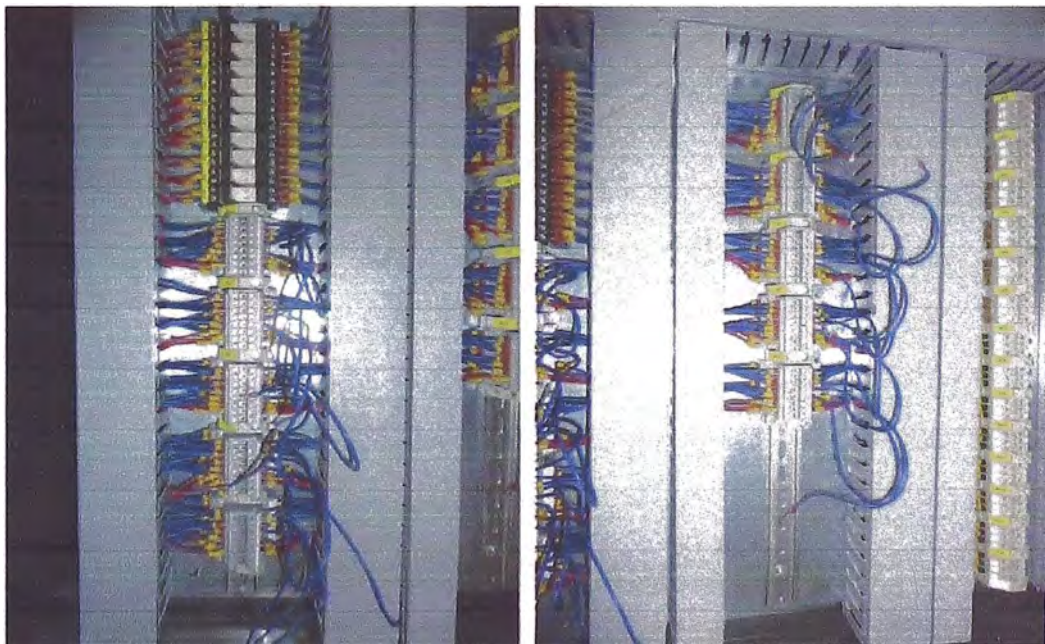


Figura 6.7. Variadores de velocidad y soft



Figura 6.8. Variador de Velocidad y Soft Starters

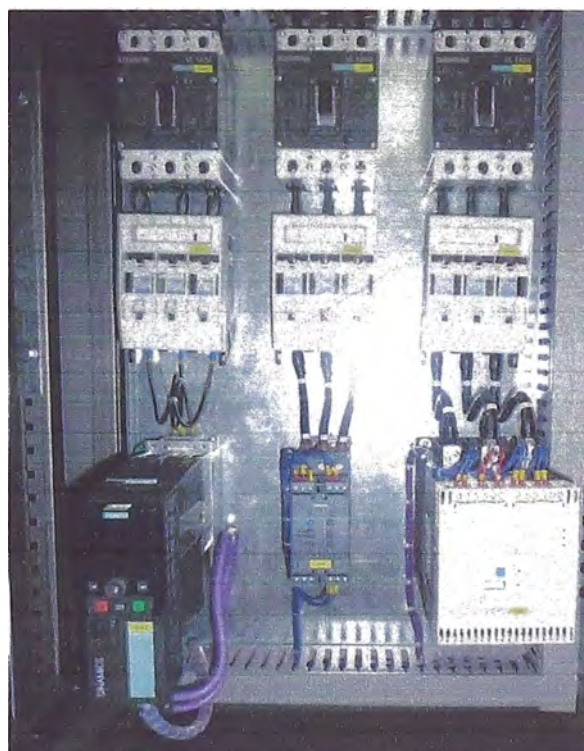


Figura 6.9. Etapa de arranque directo

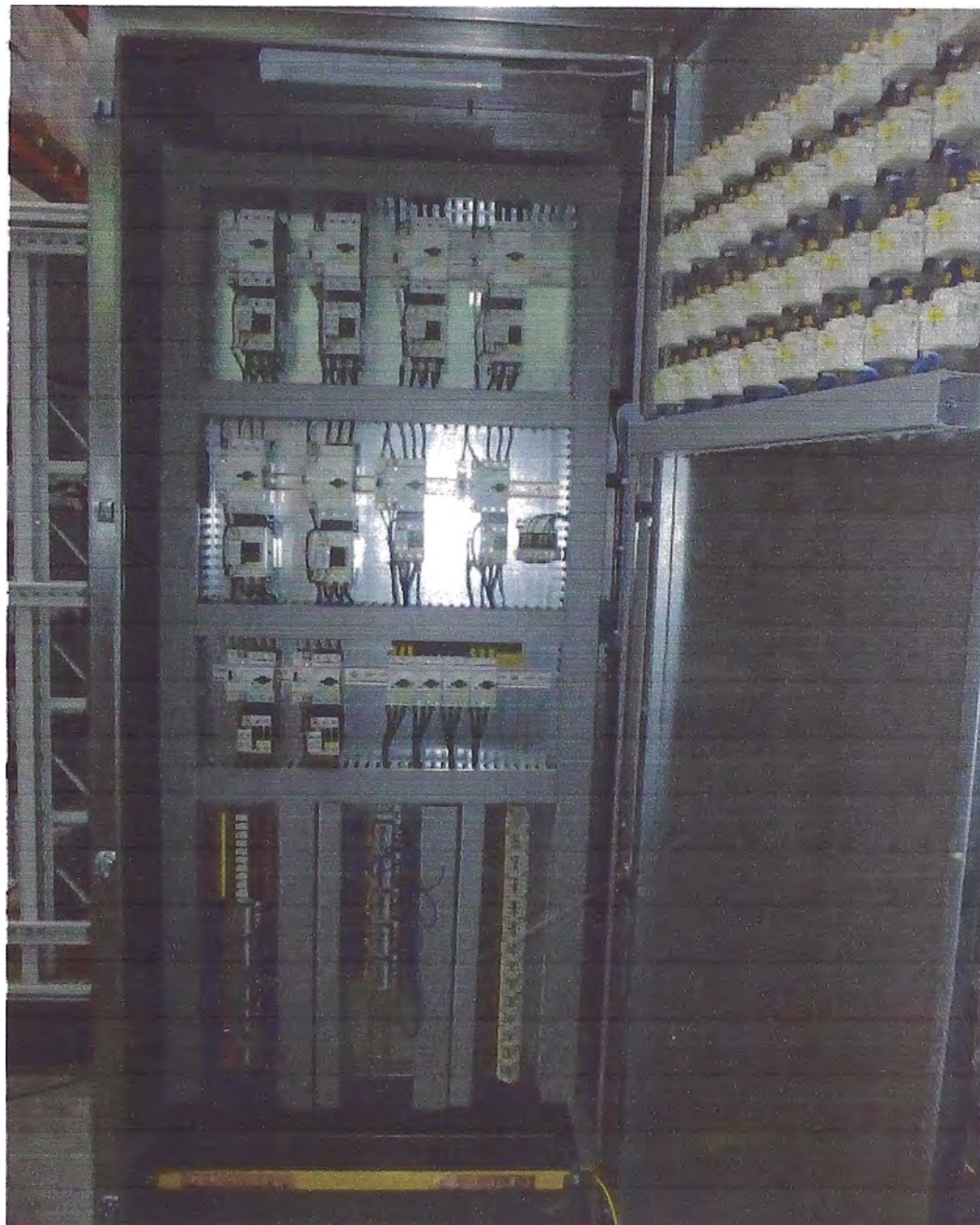


Figura 6.10. Etapa de Distribución de Fuerza

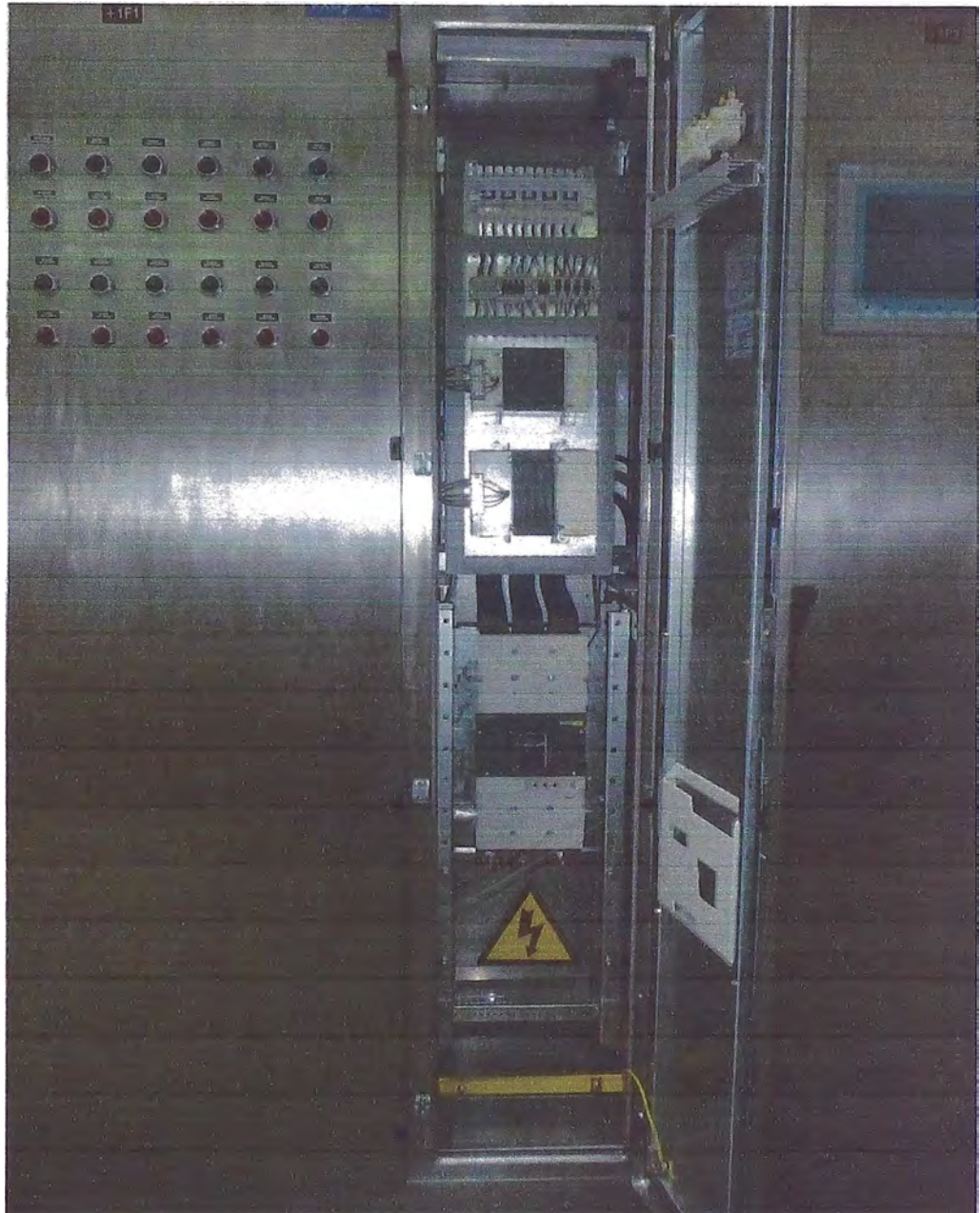


Figura 6.11. Etapa de Variadores de Frecuencia y Soft Starters

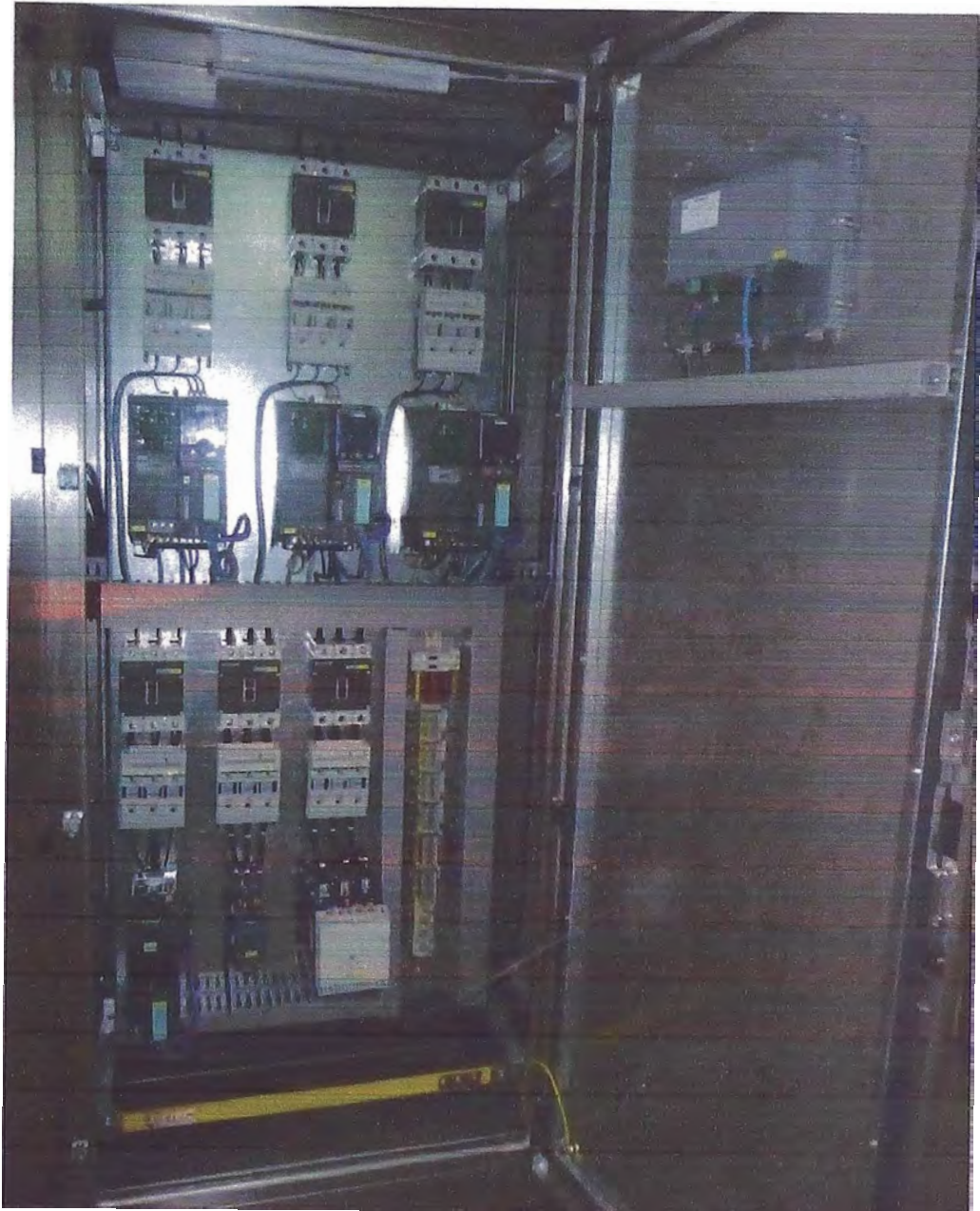


Figura 6.12. Etapa de control automático



Figura 6.13 CCM completo

6.3 Programación del CCM

La programación del CCM consistió básicamente en traducir la lógica que entregó el cliente al lenguaje apropiado que pueda manejar el PLC S7-300 que se utiliza en el actual proyecto, por otra parte también fue necesario programar pantallas de proceso de acuerdo a la información entregada por el cliente.

6.3.1 Programación del PLC

La programación del PLC en este proyecto consistió simplemente en traducir los lazos de control que entregó el cliente al lenguaje de programación propio de los PLC de SIEMENS, es decir, a los lenguajes KOP/FUP/AWL según corresponda.

La gran cantidad de dispositivos a controlar, con lo mismo la gran cantidad de circuitos de control se generan hacen inviable describir toda la lógica de programación detallada en este informe, por lo cual se indicará simplemente en resumen los lineamientos generales que se siguieron en la programación de este proyecto:

6.3.1.1 Motores:

El control de los motores de bombas el control contempla básicamente 3 detalles:

- El arranque y parada están condicionados por el control manual o automático y el nivel de llenado del tanque al que está conectada la bomba.
- Continuamente se hace la verificación de que el estado actual de funcionamiento del motor sea el que se indica desde el circuito de control.
- La parada de emergencia está condicionada por el nivel del tanque al que está conectada la bomba, se busca no activar las bombas en vacío.

En el caso de los motores del cucharón y el carruaje del equipo clarificador (SPC 22 AM y SPC 22BM):

- El arranque y parada están condicionados por el control manual o automático.
- Continuamente se hace la verificación de que el estado actual de funcionamiento del motor sea el que se indica desde el circuito de control.
- La parada de emergencia está condicionada por el nivel de tina del SPC22.
- La velocidad del motor está manejada desde el mando del sistema.

6.3.1.2 Válvulas:

La válvula principal es la que controla el nivel de tina del clarificador (válvula LVSPC22A), ésta válvula está controlada por un controlador PID, los setpoints están fijados por el usuario desde el sistema. Esta válvula está vinculada con las válvulas EV-1 y EV-2, y los tanques en los que descargan estas válvulas, o lo que es lo mismo, con el nivel de los tanques 801 y 802.

Las demás válvulas cumplen con las siguientes premisas:

El arranque y parada están condicionados por el control manual o automático.

Se verifica constantemente que el estado de la válvula sea el indicado por el circuito de control, en caso de incoherencia se manda a cerrar la válvula.

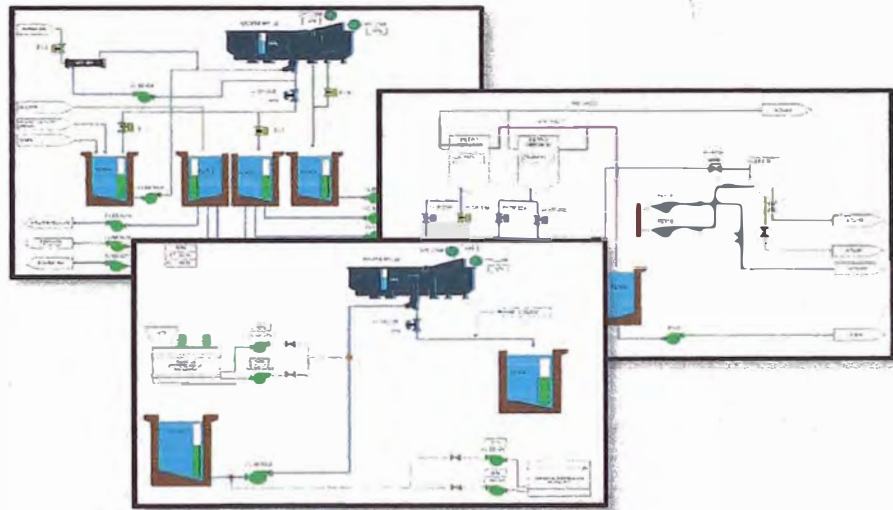
6.3.1.3 Variadores de frecuencia:

Los variadores de frecuencia entran en el programa del PLC a modo de bloques de funciones determinadas. Estos variadores realizan control vectorial sobre los motores que controlan, trabajan sin retroalimentación vía encoder o similar, utilizan simplemente estimación de la velocidad según el modelo vectorial del motor.

6.3.2 Programación del HMI

Como en el caso de la lógica de control, las pantallas del control provistas por el cliente también han sido replicadas, por lo cual, las pantallas de control vía HMI serán simplemente réplicas de las pantallas que se utilizaron para la identificación del sistema, como se muestra en la Figura 7.1.

Figura 6.14. Pantallas de control HMI



6.4 Pruebas de funcionamiento del Centro de Control de Motores

FAMETAL cuenta con un protocolo de pruebas FAT (Factory Acceptancy Test) estándar para tableros eléctricos, las cuales fueron realizadas sobre el CCM en nuestro taller según se detalla más adelante, las pruebas SAT (Site Acceptancy Test) se realizaron en las instalaciones del cliente según las condiciones que el cliente imponga.

6.4.1 Pruebas FAT

El protocolo de pruebas FAT de FAMETAL contemplan los siguientes procedimientos:

- Inspección visual de los equipos y su disposición según los planos mecánicos, indicaciones de letreros, señalización de componentes, cerradura de puertas y barra de tierra.
- Inspección de fabricación y ensamblaje, verificando que los empalmes y ajustes, sobre todo de las barras de cobre estén correctamente realizados, cableado interno según planos eléctricos, entre otros.
- Pruebas mecánicas de ajuste de pernos, sobre todo en equipos pesados y barras de cobre.
- Verificación de dimensiones de las barras de cobre según especificación de los planos mecánicos.
- Pruebas de aislamiento con uso de Megóhmetro a 1000 VDC.
- Pruebas de continuidad eléctrica de los circuitos de fuerza, de los circuitos auxiliares y de control, interruptores y conmutadores, conmutadores, fusibles, bornes y otros.
- Pruebas de funcionamiento generales, de los sistemas de control y accionamiento manual, automático (directo vía PLC con forzado de variables no disponibles según necesidad), sistemas de iluminación, etc.

Como corresponde, el CCM pasó satisfactoriamente todas estas pruebas.

6.4.2 Pruebas SAT

Debido a que el tablero fue transportado embalado como cuatro cuerpos independientes y se realizó reconexión en las instalaciones del cliente se volvieron a realizar las pruebas de continuidad y funcionamiento básico.

Adicionalmente el cliente elaboró una serie de condiciones de operación para verificar que la lógica que entregaron fue correctamente implementada.

Las pruebas reales de funcionamiento no las realizó FAMETAL y quedó en manos del cliente según requerimiento suyo.

6.5 Condiciones de embalaje y empaquetamiento del CCM

El CCM fue separado en sus 4 cuerpos independientes, los cuales fueron embalados haciendo uso de Poli-film y láminas de cartón, para luego ser empaquetado en estructuras clavadas de madera y entregados al cliente en las instalaciones de FAMETAL.

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS DE TIEMPO Y COSTOS DEL PROYECTO

7.1 Análisis de tiempos del proyecto

La realización del proyecto se llevó a cabo de acuerdo con el cronograma que se muestra en Figura 7.1 y Figura 7.2.

La estructura de tiempos de este tipo de proyectos está bastante limitada por la adquisición de equipos, debido a los tiempos de entrega que ofrecen los proveedores para entregar productos que no tienen stock en el país. En este caso puntual este proceso de compras genera un tiempo muerto de aproximadamente mes y medio, lo cual al estar ya programado no influye en el cumplimiento de las metas del proyecto.

El proyecto ostenta una duración de 90 días útiles, comenzó el 20 de marzo de 2013, con la entrega de la orden de compra por parte de PROTISA y fue finalizado el 22 de julio de 2013 con la firma del acta de cierre proporcionada por FAMETAL.

El Centro de Control de Motores, con toda la documentación y reportes correspondientes fue entregado según lo indicado en el cronograma.

Figura 7.1. Cronograma del Proyecto (1/2)

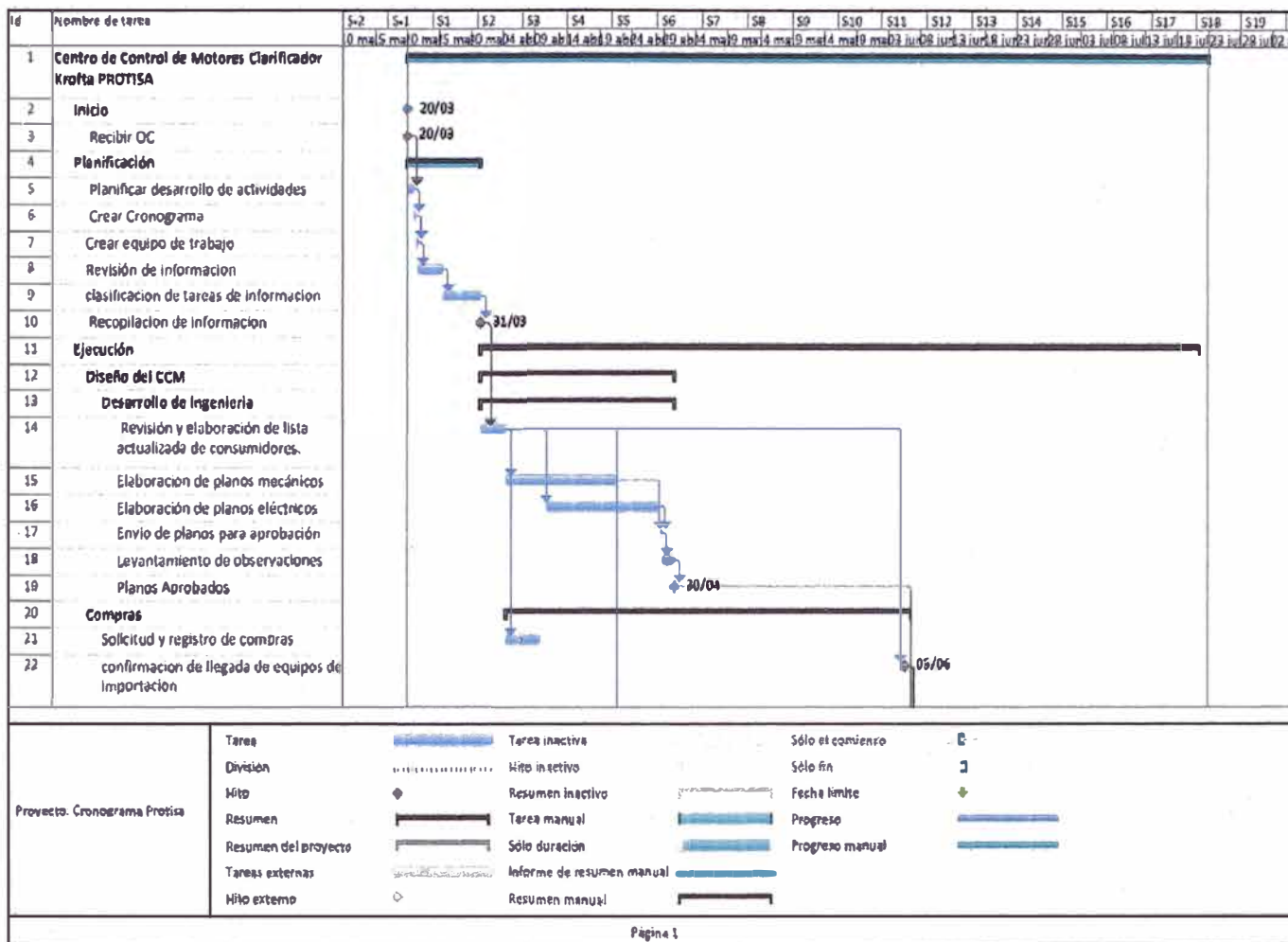
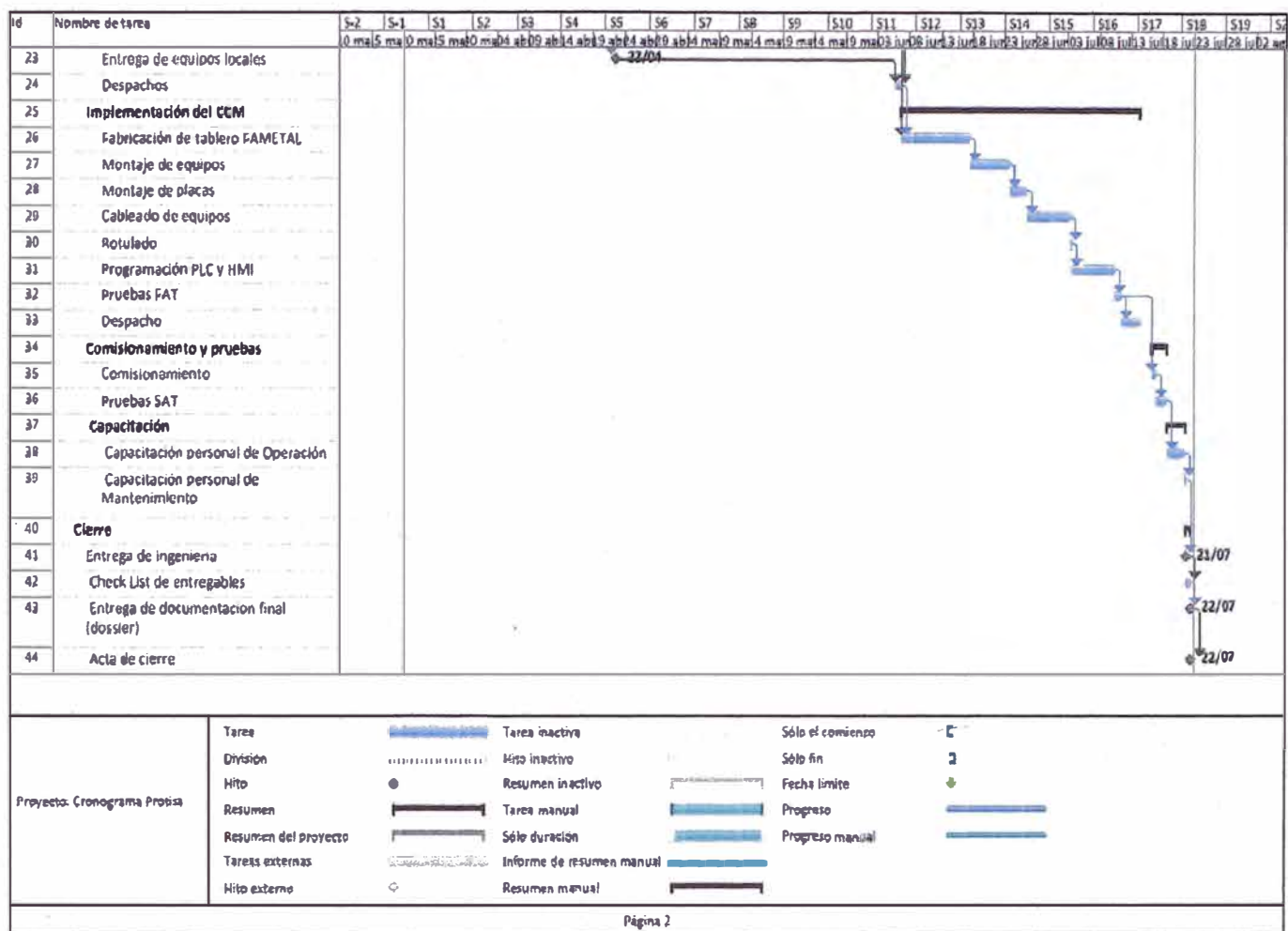


Figura 7.2. Cronograma del Proyecto (2/2)



7.2 Análisis de costos del proyecto

El análisis de costos se realizó según la estructura de costos estándar con la que se trabaja en FAMETAL S.A.

En la Tabla 7.1 se muestra la estructura de costos para este proyecto en particular, en la que se muestran los costos categorizados según su naturaleza, y se indica los márgenes que se generan entre precio de costo y precio de venta.

Los márgenes dependen del origen de costo y son fijos para todos los proyectos.

Tabla 7.1. Estructura de costos del proyecto

Cod	Orígenes de Costo	Costo	Venta	Margen	Reparto
001	Representación	13,410.4	17,416.1	23.0%	19.8%
002	Distribución	41,637.8	50,833.7	18.0%	61.5%
003	Compra Exterior			20.0%	
004	Compra Local	2,400.0	2,823.5	15.0%	3.5%
005	Ingeniería Propia	6,530.0	10,046.2	35.0%	9.6%
006	Ingeniería Terceros			20.0%	
007	Montaje / Instal. Propio	2,880.0	4,800.0	40.0%	4.3%
008	Montaje / Instal. Terceros			20.0%	
009	Servicio Propio			20.0%	
010	Servicio Terceros			20.0%	
011	Gestión de Proyecto			20.0%	
012	Viajes / Viáticos			20.0%	
013	Otros	900.0	1,000.0	10.0%	1.3%
	Total	67,578.2	86,919.4		100%

Estos costos son clasificados de una forma más acorde a la estructura técnica del proyecto en la Tabla 7.2, en la que se especifican los costos por conceptos más tangibles como son: El Centro de Control de Motores como producto, los servicios

que hacen referencia a la programación del sistema y por último los productos adicionales que se ofertan a pedido del cliente.

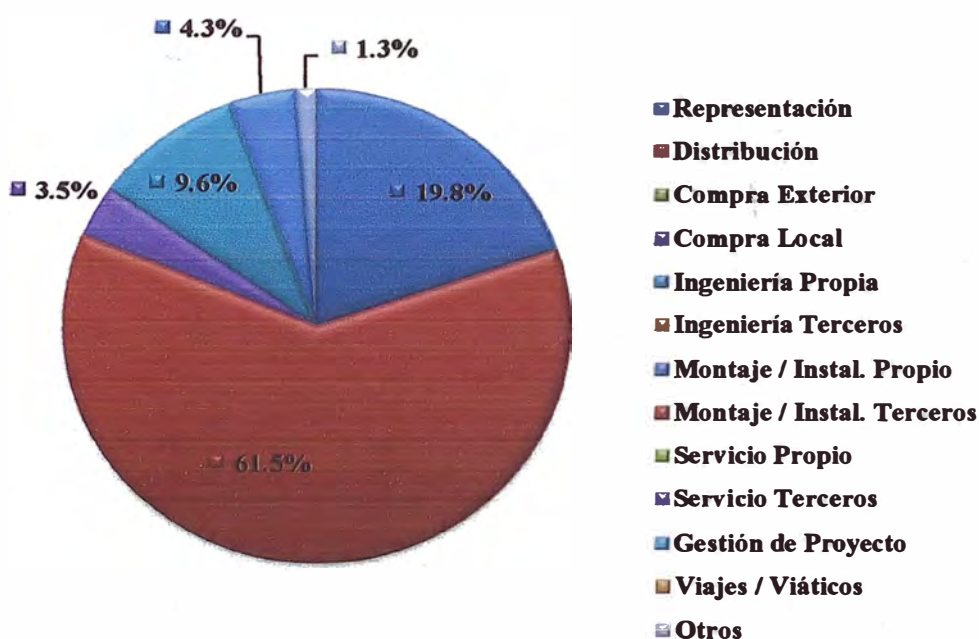
Tabla 7.2. Clasificación de costos por componentes tangibles

Item	Venta	Costo
CCM	S/. 76,058.2	S/. 59,670.6
Compra Local	S/. 2,823.5	S/. 2,400.0
GENERAL	S/. 1,941.2	S/. 1,650.0
PLC	S/. 882.4	S/. 750.0
Distribución	S/. 44,787.8	S/. 36,680.2
ARRANQUE DIRECTO	S/. 4,520.3	S/. 3,660.8
GENERAL	S/. 6,475.5	S/. 5,309.9
INTERRUPTORES	S/. 1,077.2	S/. 883.3
PLC	S/. 18,243.1	S/. 14,959.3
SOFT STARTER	S/. 5,660.5	S/. 4,641.6
VARIADOR	S/. 8,811.2	S/. 7,225.2
Ingeniería Propia	S/. 5,230.8	S/. 3,400.0
GENERAL	S/. 1,846.2	S/. 1,200.0
PROGRAMACION	S/. 3,384.6	S/. 2,200.0
Montaje / Instal. Propio	S/. 4,800.0	S/. 2,880.0
GENERAL	S/. 4,800.0	S/. 2,880.0
Otros	S/. 1,000.0	S/. 900.0
GENERAL	S/. 1,000.0	S/. 900.0
Representación	S/. 17,416.1	S/. 13,410.4
GENERAL	S/. 15,847.4	S/. 12,202.5
PLC	S/. 598.0	S/. 460.4
SOFT STARTER	S/. 558.9	S/. 430.3
VARIADOR	S/. 411.8	S/. 317.1
SERVICIOS	S/. 4,815.4	S/. 3,130.0
Ingeniería Propia	S/. 4,815.4	S/. 3,130.0
PROGRAMACION	S/. 4,815.4	S/. 3,130.0
PRODUCTOS	S/. 6,045.9	S/. 4,957.6
Distribución	S/. 6,045.9	S/. 4,957.6
PROGRAMACION	S/. 6,045.9	S/. 4,957.6
Total general	S/. 86,919.4	S/. 67,758.2

En la Figura 7.3 se muestra la distribución de costos en forma gráfica, cabe resaltar en este punto que la estructura de costos que usamos conceptúa como "Distribución" a los equipos que forman parte de la gama de productos de FAMETAL S.A., es decir, los productos que FAMETAL S.A. vende como distribuidor

autorizado de distintas marcas, principalmente de SIEMENS. Como "Representación" se conceptúan los accesorios que fabrica FAMETAL S.A. o maneja en stock de marcas de las que no es un distribuidor autorizado.

Figura 7.3. Distribución de Costos del proyecto



Se observa que el grueso de los costos lo conforman los costos de "Distribución", esto es lógico debido a que el sistema entero ha sido basado en tecnología SIEMENS, marca de la cual FAMETAL S.A. es distribuidor autorizado.

El segundo costo más grande lo conforman los costos de "Representación", dentro de estos costos se encuentra la fabricación del Gabinete metálico en Acero Inoxidable, precisamente este ítem es el que, debido a su elevado costo

(aproximadamente S/. 10000) hace que "Representación" sea el segundo costo más grande.

Por último en la Tabla 7.3 se muestra el resumen del análisis económico del proyecto.

Tabla 7.3. Análisis económico resumido

CONCEPTO	USD	PEN	%
Precio Cliente	31,607.07	86,919.4	100.0%
Margen de Ventas	6,967.71	19,161.2	22.0%
Gasto de Adm & Ventas	3,160.71	8,691.9	10.0%
EBIT	3,807.01	10,469.3	12.0%
NOPAT (Renta)	30.00%	7,328.5	8.4%
Costo de Capital			
EVA	2,664.91	7,328.5	8.4%
EVA / Ebit		0.70	
ESTRUCTURA DE COSTO	USD	PEN	%
Costo material y servicios	24,639.4	67,758.2	78.0%
Legalización			
Pólizas			
Retenciones			
Imprevistos			
Costo de venta	24,639.4	67,758.2	78.0%

En este análisis los datos más relevantes los otorgan el EBIT (Ganancias antes de deducir intereses e impuestos) y el EVA (Valor económico añadido) del proyecto.

El EBIT es el monto que entra en el estado financiero del proyecto y el EVA es el monto que representa las ganancias residuales que genera el proyecto.

Como criterio de evaluación en FAMETAL S.A. se considera que un proyecto con un EBIT mayor al 5% es económicamente viable y atractivo, por lo cual, el proyecto actual, que cuenta con un EBIT de 12% termina siendo un proyecto económicamente exitoso.

Adicionalmente realizamos el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI). Consideramos que la tasa de descuento que nos ofrecen nuestros inversionistas es de un 6% anual, y el tiempo de facturación al final del proyecto, es decir, 90 días, que es equivalente a tres meses o un cuarto de año, calculamos el VAN, en nuevos soles, de la siguiente manera:

$$VAN = \frac{86919.4}{(1 + 0.06)^{1/4}} - 67758.2 = S/. 17904.2$$

Por lo cual el VAN es de S/. 17904.2, por lo cual el proyecto es viable.

Para el cálculo del PRI aplicamos una regla de tres simple, si en tres meses se ingresa el monto pagado por el cliente, hallaremos en cuanto tiempo se ingresaría lo invertido:

$$PRI = \frac{67785.2}{86919.4} \cdot 3 \text{ meses} = 2.34 \text{ meses}$$

Se observa que el PRI resulta en un tiempo menor al tiempo de facturación del proyecto, esto refuerza la decisión de la viabilidad del proyecto.

Se puede observar que el criterio del EBIT es más indicado para la evaluación económica de este tipo de proyectos, que duran corto tiempo y que terminan facturándose como un producto que se entrega al cliente.

En contraparte el cálculo de los parámetros clásicos de evaluación de proyectos (VAN y PRI) no se muestran como adecuados para este tipo de proyectos, en primera instancia por el corto tiempo en que se manejan estos proyectos, la concepción del VAN y PRI está orientada a inversiones que se necesitan evaluar, por lo general, en años.

Por último, queda demostrado que el proyecto es económicamente atractivo para FAMETAL S.A. y que, adicionalmente es un proyecto perfectamente viable.

CONCLUSIONES

- **Se han obtenido conocimientos teóricos y prácticos sobre el sistema de control de flujos de un clarificador Krofta, los distintos tipos de arranque de control de motores y la línea de productos que SIEMENS ofrece en el campo de control de motores.**
- **Se ha realizado el diseño mecánico y eléctrico del Centro de Control de Motores considerando tanto la parte lógica del funcionamiento del sistema como la selección particular de equipos y su disposición física adecuada para el uso del cliente.**
- **Se ha realizado correctamente la implementación del Centro de Control de Motores de acuerdo al diseño electromecánico que se ha desarrollado, se ha realizado la programación correspondiente del sistema cubriendo las especificaciones del cliente y se han aprobado satisfactoriamente las pruebas de funcionamiento del sistema.**
- **Se ha culminado el proyecto dentro de las fechas establecidas y se han obtenido ganancias netas de S/. 10 500, lo cual representa un 12% del monto pagado por el proyecto, por lo cual se puede considerar que el proyecto ha sido económicamente exitoso.**

- De acuerdo a los puntos anteriores se puede concluir que “Ha sido posible realizar el Diseño e Implementación de un Centro de Control de Motores para un Clarificador Krofta de 264000 l/h cumpliendo los plazos establecidos y generando un porcentaje de ganancias netas lo suficientemente elevado para ser considerado económicamente exitoso para FAMETAL S.A.”.

RECOMENDACIONES

- **Es muy recomendable la adquisición de un software de integración total e ingeniería concurrente en el diseño de tableros eléctricos para poder minimizar la cantidad de correcciones de fabricación en los planos, el trabajar de forma aislada la parte mecánica y eléctrica, es decir, en software no integrado hace que no se concatenen correctamente las limitaciones de uno y otro apartado.**

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Catálogo Control Industrial IC 90 -2013 - SIEMENS
- [2] Catálogo D11.1 2013 Inversores Estándar y Distribuidos SINAMICS G110 Y G120 - SIEMENS
- [3] Catálogo de Interruptores Automáticos de Caja Moldeada 3WL 2013 - SIEMENS
- [4] Catálogo de Interruptores de Protección para arranque de Motores 3RV1 2012 - SIEMENS
- [5] Catálogo ST-70 2013 Productos para Totally Integrated Automation - SIEMENS
- [6] Catálogo de dispositivos de protección de baja tensión 2013 - SIEMENS
- [7] Catálogo general de conductores 2012 - INDECO
- [8] Catálogo de bomeras UKK5 2013 – PHOENIX CONTACT
- [9] Catálogo de bloques de terminales Alpha Fix 2013 - SIEMENS
- [10] Catálogo de mandos eléctricos en baja tensión 2012 - RELPOL

ANEXO: MATRIZ DE MEDIOS FINES

DIAGRAMA DE MEDIOS/FINES

