

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE  
Y RECEPCIÓN DE CEMENTO Y CARBÓN**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**FREDDY ESTEBAN MENDOZA SIFUENTES**

**PROMOCIÓN  
2003 - II**

**LIMA – PERÚ  
2008**

**AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE Y RECEPCIÓN DE  
CEMENTO Y CARBÓN**

### ***Dedicatoria***

*A mis padres que siempre estuvieron a mi lado y me brindaron todo su apoyo.*

*A mi hermana Jacqueline.*

### ***Agradecimientos***

*A mis amigos de BB Tecnología Industrial y Bermit SAC.*

## **SUMARIO**

El presente trabajo describe la ingeniería llevada a cabo para la automatización de una Faja Transportadora Ecológica de aproximadamente 7 km. de longitud vía túnel. La Faja subterránea opera en ambos sentidos, transportando cemento y clinker a granel y otros materiales de consumo en sentido inverso. Para ello se ha tenido que implementar tableros de media tensión, transformadores M.T, Variadores de velocidad por control de frecuencia, y maquinas eléctricas para el proceso, todo esto como referencia a los equipos de fuerza. Para el sistema de supervisión y control se han utilizado instrumentos con señales discretas y analógicas, periferias distribuidas con sistema de profibus y PLC's SIMATIC S7-400 con comunicación mediante fibra óptica para enlazarse con la red existente. Para la operación del proceso se ha integrado todos los accionamientos al sistema SCADA Cemat-Case existente. Finalmente la Faja Transportadora en operación puede tener una ligera vibración perceptible, la cual al estar confinada dentro del túnel bajo tierra, desaparecerá completamente al exterior del túnel.

## ÍNDICE

### **CAPÍTULO I**

#### **SISTEMA DE TRANSPORTE DE CEMENTO Y CLINKER**

1.1 Contaminación del medio ambiente	2
1.1.1 Transporte de cemento y clinker a través de la faja	2
1.2 Instalaciones de faja transportadora	3
1.2.1 Túnel subterráneo	4
1.2.2 Zona prensas de clinker	5
1.2.3 Zona de silos de cemento	5
1.2.4 Zona edificio faja tubular	5
1.2.5 Zona torre de carbón	5
1.3 Subestaciones	5

### **CAPÍTULO II**

#### **TECNOLOGÍAS ACTUALES DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

2.1 Sistemas de control	6
2.1.1 Controladores lógicos programable	7
2.1.1.a Definiciones estándares	7
2.1.1.b Partes	8
2.1.2 Sistema de control distribuido	10
2.1.2.a Definición	11
2.1.2.b Arquitectura	11
2.1.3 Sistema de control y adquisición de datos	13
2.1.3.a Funciones	13
2.1.3.b Elementos	14
2.1.4 Automatización basada en computadora personal	15

2.2 Redes industriales	16
2.2.1 Redes de automatización y control	17
2.2.1.a Profibus	17
2.2.2 Redes de información	19
2.2.2.a EtherNet/IP	19
2.3 Instrumentación	20
2.3.1 Nivel	20
2.3.1.a Radar	21
2.3.2 Temperatura	22
2.3.2.a PT100	22
2.3.3 Detección de presencia	23
2.3.3.a Detectores de presencia electromecánicos	23
2.3.3.b Detectores de presencia electrónicos	24
2.3.4 Actuadores	26
2.3.4.a Eléctricos	26
2.3.4.b Neumáticos	26

### **CAPÍTULO III**

#### **REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE TRANSPORTE POR FAJA TUBULAR**

3.1 Descripción del proyecto	27
3.1.1 Sistema de fuerza	27
3.1.2 Sistema de control	28
3.2 Diagramas de flujos para el proceso	28
3.3 Diseño e implementación del nuevo sistema de transporte por faja tubular	35
3.3.1 Red industrial	35
3.3.1.a Red a través de Fibra Óptica	35
3.3.1.b Red Profibus DP	38
3.3.2 Controladores lógicos programables	42
3.3.2.a PLC15 y PLC16	44
3.3.3 Instrumentación	44
3.3.3.a Nivel	44
3.3.3.b Temperatura	46

3.3.3.c Corriente	46
3.3.3.d Detectores de presencia	47
3.3.4 Automatización con SIMATIC PCS7	48
3.3.4.a WinCC (SCADA)	48
3.3.4.b Programación en Step 7	49
3.3.4.c Programación de los PLC	53

## **CAPÍTULO IV**

### **INTEGRACIÓN Y PRUEBAS**

4.1 Análisis económico del proyecto	57
4.1.1 Costo del proyecto	57
4.1.1.a Túnel subterráneo que incluye cinco accesos de mantenimiento	57
4.1.1.b Faja transportadora principal y fajas auxiliares	58
4.1.1.c Pista reparada y ampliada	58
4.1.1.d Costo total	58
4.1.2 Justificación del proyecto	58
4.2 Cronograma de actividades	59
4.3 Integración del nuevo sistema	60
4.4 Pruebas del nuevo sistema	60

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	62
---------------------------------------	----

### **ANEXO A**

<b>GLOSARIO</b>	63
-----------------	----

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	65
---------------------	----

## **INTRODUCCIÓN**

La automatización de procesos dentro de las industrias brinda a las empresas diversas ventajas tanto en áreas como producción, mantenimiento y control de calidad permitiendo tener a la mano tanta información como se requiera para la operación, prevención y solución de problemas, y análisis de variables de producción.

Buscando llevar estas ventajas al proceso de transporte de cemento y clinker, es que se decidió implementar la automatización de una faja transportadora tubular de 7Km. a una de las compañías más grandes del país y primera en su rubro.

El presente informe se encuentra dividido para la exposición del tema en cuatro capítulos.

El capítulo uno, busca brindar una visión general del proceso para el transporte de cemento y clinker además de la ubicación de las diferentes etapas del proceso dentro de la planta cementera.

El capítulo dos, detalla las tecnologías actuales de automatización industrial tanto en quipos de instrumentación, comunicación y arquitectura del sistema de control. Además muestra una de las formas con lo que podemos automatizar este proceso.

El capítulo tres, entrega el detalle de los equipos utilizados para la automatización, y el diseño de implementación del nuevo sistema de transporte.

El capítulo cuatro, resume la etapa final del proyecto mostrando la viabilidad económica del proyecto y el cronograma de actividades del mismo.

# **CAPÍTULO I**

## **SISTEMA DEL TRANSPORTE DE CEMENTO Y CLINKER**

En este capítulo se da un alcance sobre algunos aspectos que generan un problema en el actual transporte de material vía carretera y las ventajas que se obtendría al tener este nuevo sistema de transporte. La Faja Transportadora tubular construida por túnel permite despachar de manera eficaz y con menos mermas el cemento y clinker al Muelle de Conchan en alta mar con acceso a transporte marítimo para la exportación o para la distribución local.

### **1.1 Contaminación del medio ambiente**

Actualmente el transporte de Cemento y Clinker se realiza por vehículos pesados y todos los inconvenientes que éste trae, llámese contaminación generada por los motores de combustión interna, emisión de polvo procedente de las tolvas, ruido, vibración, accidentes y otros. La operación de la Faja Transportadora sustituirá a los camiones que trasladan hoy en día materiales de consumo entre la Fabrica Cementera y el Muelle de Conchan.

#### **1.1.1 Transporte de cemento y clinker a través de la faja**

Permitiría un descongestionamiento vehicular teniendo beneficios indirectos, como el ahorro de gran cantidad de horas-hombre y combustible que hoy se pierden por el tráfico caótico existente. La disposición de la Faja Transportadora dentro de un túnel bajo tierra no interfiere con el aspecto urbanístico del vecindario ni el "paisajista" de los distritos. El beneficio ambiental del proyecto es sumamente importante al disminuirse los ruidos y emisiones de monóxido de carbono vehicular al obtener un tránsito más ordenado además de disminuir parte importante del tráfico pesado. Disponibilidad, en menor tiempo, de pedidos de clinker o cemento para exportación vía el Muelle. La faja transportaría volúmenes prefijados con mucha exactitud, evitando mermas que hoy se dan por diferentes agentes.

Confirmación con hechos de una real política pro-ecología que viene llevando a cabo la Fábrica Cementos Lima S.A. quien cuenta una certificación ISO 9002.

## **1.2 Instalaciones de faja transportadora**

La longitud de la Faja Transportadora será de aproximadamente 6,800m. realizando a lo largo de su trayectoria curvas horizontales como verticales para adaptarse al terreno, no existiendo por lo tanto, puntos de transferencia del material a lo largo del recorrido.

Está previsto utilizar una banda de 800mm de ancho, la cual discurrirá sobre estaciones portantes provistas de polines formando una artesa de 45°. Esta faja se debe desplazar a 4 m/s transportando hasta 500 t/h de cemento ó 600 t/h de clinker en la parte superior de La banda que discurrirá desde la Fábrica de Atocongo al Muelle de Conchan. Asimismo habrá la posibilidad de transportar hasta 500 t/h de otros materiales en la parte inferior de la faja, desde el Muelle de Conchán hasta la Fábrica de Atocongo.

El accionamiento se debe realizar mediante motores eléctricos con reductores de engranajes en ambos extremos. Estos se ubicarán fuera del túnel subterráneo y en la superficie dentro de los terrenos de la Fábrica de Atocongo y del Muelle de Conchán.

Cabe mencionar que los sistemas de control y accionamiento permitirán detener o poner en marcha la faja estando ésta aún cargada, con lo cual en caso de avería o parada de emergencia no sería necesario retirar el material de la faja a lo largo de la trayectoria.

El extremo de la Faja Transportadora ubicado en la Fábrica de Atocongo puede recorrer 140 m. dentro del terreno de Cementos Lima sobre una estructura metálica que se puede elevar hasta 10 m. sobre el nivel del suelo.

Allí se pueden recibir y entregar material a nuevas fajas auxiliares de 1500m. de longitud dentro de la Planta, contando con un sistema para captar el polvo que se desprenda en las tolvas de carga. Todas las Fajas en superficie deben estar cubiertas por un capotaje metálico para evitar la dispersión del polvo contenido en el material transportado.

En la zona del Muelle de Conchán la faja al salir del túnel debe recorrer 70 m. dentro del terreno de las instalaciones portuarias de Cementos Lima. En este extremo la faja se ubica sobre una estructura metálica a una altura de 20 m. aproximadamente sobre el nivel del suelo.

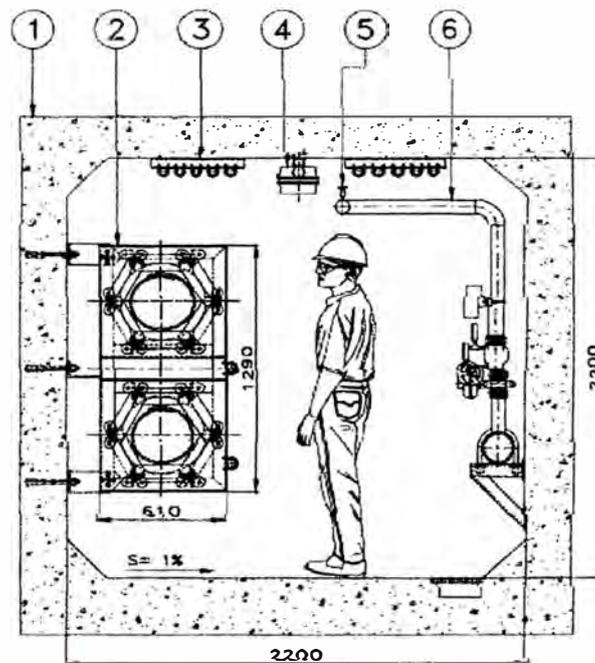
Al igual que en el otro extremo la banda debe ser cubierta mediante un capotaje metálico, recibir y entregar material a nuevas fajas auxiliares en las instalaciones del Muelle de Conchán con una longitud total de 500 m.

### 1.2.1 Túnel subterráneo

La Faja Transportadora debe discurrir por un túnel de concreto circular de 3.2 m. de diámetro interno y de 6,600 m. de longitud ubicado entre 1.5 a 4 m. debajo del nivel de la pista. Alternativamente, el túnel puede ser también de sección rectangular de 2.2 m. de ancho interno por 2.2 m. de altura interna.

Adicionalmente el túnel debe tendrá acceso en cinco puntos intermedios a través de estaciones de control distanciadas aproximadamente 1000 m. desde edificaciones expresamente construidas para realizar las labores de mantenimiento a la Faja Transportadora dentro del túnel.

Adicionalmente el túnel debe contar con sistemas de ventilación, protección contra incendio, desagüe e iluminación necesarios para su correcto funcionamiento.



ITEM	DESCRIPCIÓN
1	TÚNEL DE CONCRETO
2	FAJA TRANSPORTADORA TUBULAR
3	CABLES ELÉCTRICOS
4	ILUMINACIÓN
5	ROCIADORES CONTRA INCENDIO
6	TUBERÍA DE AGUA CONTRA INCENDIO

**Fig. 1.1** Túnel faja tubular

### **1.2.2 Zona prensas de clinker**

En esta zona se encuentra la torre principal de almacenamiento de Clinker, en el cual se van a adicionar dos fajas auxiliares de transporte y una compuerta electroneumática de dos vías que van a servir para el transporte del material hacia el edificio de la Faja tubular. Adicionalmente se van a colocar sistemas de recolección de polvo para evitar la contaminación ambiental.

### **1.2.3 Zona de silos de cemento**

Esta zona cuenta con 8 silos de almacenamiento de cemento, y desde la parte superior se adiciona una faja auxiliar que va a transportar cemento a través de un elevador y compuertas electroneumáticas hacia la parte superior del edificio de Faja Tubular.

### **1.2.4 Zona edificio faja tubular**

Esta es la zona principal donde se van a llevar a cabo el envío de materias, así como la recepción del carbón a través de la faja tubular de 7Km. de longitud. En este edificio se han instalado dos tolvas de almacenamiento para cemento y clinker respectivamente.

### **1.2.5 Zona torre de carbón**

Recibe el carbón procedente del Muelle de Conchan que descarga a través de fajas auxiliares desde el edificio de Faja Tubular.

## **1.3 Subestaciones**

Se ha construido una subestación en el Edificio de Faja tubular donde se van a colocar tableros para los accionamientos de los motores CCM, sistema IBAU, y Tableros de PLC. Además de dos salas más uno para los convertidores de Frecuencia y otra para el sistema de refrigeración.

## **CAPÍTULO II**

### **TECNOLOGÍAS ACTUALES DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

En la industria, la tecnología con que se contaba para automatizar procesos, hasta mediados del siglo pasado, se encontraba muy limitada ya que todo se llevaba a cabo por medio de contactos eléctricos como relés y contactores, y por ello mismo, se ocupaban grandes espacios para poder automatizar pocos equipos.

Debido a la necesidad de las mismas industrias que se necesitaba automatizar sus procesos, por lo que se hacen los primeros Controladores Lógicos Programables (PLC) que permitirían hacer los mismos trabajos de lógica que contactores y relés físicos mediante operaciones lógicas digitales. Sin embargo, las necesidades iban más allá y no sólo se necesitaba una automatización del proceso sino también la posibilidad de controlar sus variables, con lo que nacen los sistemas de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA) con los cuáles se hace posible el monitoreo y control desde paneles de operador y cuartos de control.

Aún con estos grandes avances, se hacen y van apareciendo más elementos para el control total de procesos industriales, por eso, en este capítulo se describirán los elementos usados en el control industrial de este proyecto. Se describirán también las redes industriales utilizadas para enlazar los elementos de control utilizados y finalmente los sistemas de supervisión que integran los puntos anteriores para la supervisión.

#### **2.1 Sistemas de control**

Antes de dar una breve descripción de los sistemas de control que se pueden encontrar hoy en día, hay que definir el elemento básico de estos sistemas, que viene a ser el controlador.

Un controlador es un instrumento que detecta los desvíos existentes entre el valor medido por un elemento primario y el valor deseado (*set point*), emitiendo una señal de corrección hacia el elemento final de control. Aplicándose este concepto, se puede obtener controladores que regulan señales analógicas y/o digitales.

## 2.1.1 Controladores lógicos programables

Los Controladores Lógicos Programables (PLC) fueron introducidos en los finales de los años 60. La razón principal para diseñarlos fue para disminuir los altos costos involucrados en reemplazar los complicados sistemas de control basados en relés. La compañía Bedford Associates creada por Richard E. Morley creó el primer PLC llamado Controlador Digital Modular (*Modular Digital Controller* – MODICON) para la empresa General Motors.

### 2.1.1.a Definiciones estándares

Un PLC es un computador especializado, basado en un microprocesador que realiza funciones de control de diversos tipos y niveles de complejidad.

El grupo de estándares IEC 61131 comprende la colección completa de reglas con las que deben cumplir los controladores lógicos programables y sus periféricos asociados. Consiste en partes que se mencionan a continuación.

- Información general (IEC 61131-1)

Establece definiciones y las principales características funcionales relacionadas con la selección y aplicación de PLCs y sus periféricos asociados.

- Requerimiento del equipo y pruebas (IEC61131-2)

Especifica los requerimientos y pruebas relacionadas para PLCs y sus periféricos asociados.

- Lenguajes de programación (IEC61131-3)

Define un juego mínimo de elementos de programación básicos, reglas de sintaxis y semántica para los lenguajes de programación más comúnmente usados, incluyendo lenguajes gráficos como el Lenguaje de Escalera y el de Diagrama de Bloques Funcionales, y lenguajes textuales como el Lenguaje de Instrucciones y el Lenguaje de Texto Estructurado.; tanto como mayores campos de aplicación, pruebas aplicables lo que significa que cada fabricante debe expandir y adaptar ese juego mínimo a sus propias implementaciones de PLCs

- Directivas del usuario (IEC61131-4)

Es un reporte técnico que proporciona una información general y directivas de aplicación del estándar al usuario final de los PLCs.

- Especificaciones del intercambio de mensajes (IEC61131-5)

Define la comunicación de datos entre PLCs y otros sistemas electrónicos utilizando la Especificación de Mensajes de Fabricación (*Manufacturing Message Specification – MMS*) de acuerdo con el Estándar Internacional ISO/IEC 9506.

- Programación de control difuso (IEC61131-7)

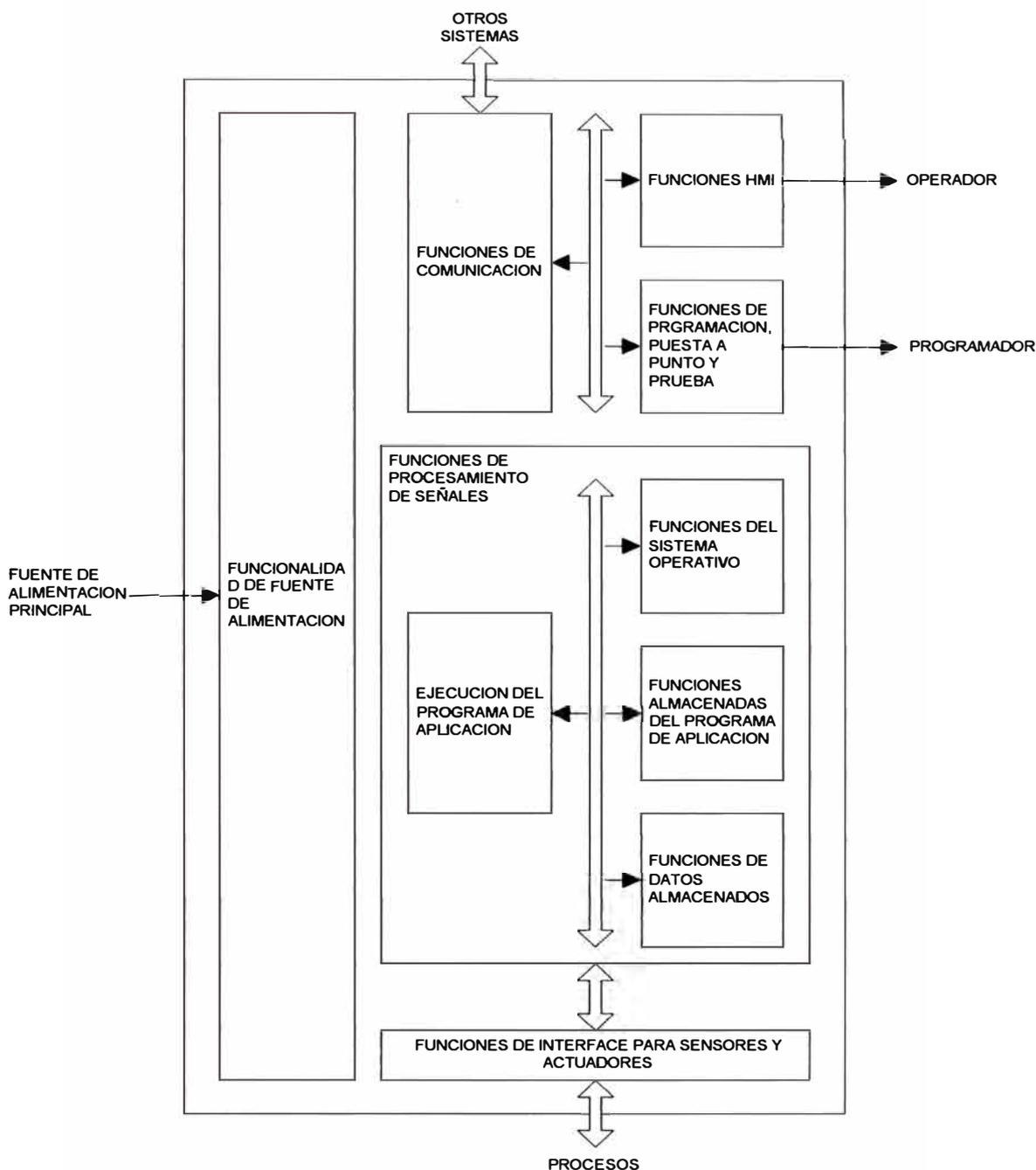
Define los elementos de programación básica para el control con lógica difusa utilizado en controladores lógicos programables.

- Directivas para la programación e implementación de lenguajes de programación (IEC61131-8)

Proporciona una guía a los programadores para programar los lenguajes definidos en la IEC61131-3.

#### **2.1.1.b Partes**

Según el estándar IEC 61131-1 un PLC se describe por sus partes funcionales, aunque generalmente se haga por el *hardware* del mismo. Basándose en la norma, las partes funcionales del PLC son las siguientes.



**Fig.2.1** Estructura Funcional Básica De Un PLC

- Unidad central de procesamiento

La función de la Unidad Central de Procesamiento (CPU) es el almacenamiento del programa de aplicación, almacenamiento de datos, del sistema operativo y la ejecución de las funciones del programa de aplicación.

La CPU procesa las señales obtenidas de los sensores y los datos almacenados y genera señales para los actuadores y señales para almacenar como datos en concordancia con el programa de aplicación.

- Interfase con sensores y actuadores

Incluye las señales de entrada y/o datos obtenidos de las máquinas/procesos en niveles de señal apropiados para su procesamiento y las señales de salida y/o datos de la función de procesamiento de señales a niveles de señal apropiados para los actuadores y/o paneles visualizadores.

Las señales de entrada/salida hacia la interfase deben venir de módulos especiales que pre-procesan las señales externas de los sensores de acuerdo con las funciones definidas dentro de módulos especiales. Ejemplos de estos módulos especiales son por ejemplo: módulos PID, módulos de control difuso, módulos de contadores de alta velocidad, módulos de motores, etc. Esto se puede entender más claramente cuando se explique la forma en que se programa los PLCs que se utilizan para el desarrollo de informe.

- Comunicaciones

La función de comunicación proporciona el intercambio de datos con otros sistemas, como otros PLCs, controladores, computadoras, etc.

- Interfase hombre-máquina (HMI)

La función de la interfase Hombre-Máquina proporciona la interacción entre el operador, como funciones de procesamiento de señales y las máquinas/procesos.

- Programación, puesta a punto, pruebas y documentación

Estas funciones proporcionan la generación y carga del programa, monitoreo, pruebas y puesta a punto así como documentación y almacenamiento.

- Fuentes alimentación

Esta función proporciona la alimentación y aislamiento de la fuente de alimentación del PLC de la alimentación de línea.

### **2.1.2 Sistema de control distribuido**

Antes de aparecer los Sistemas de Control Distribuido (DCS), el control en el que se basa este sistema basado en computador, existió un tipo de control llamado Control Digital Directo (DDC) en el que las entradas de transmisores de campo iban directamente a un computador central, el cual era programado para llevar a cabo todas las funciones de

control de los procesos. La principal limitación de este sistema era el potencial problema que podía causar la falla de este computador principal.

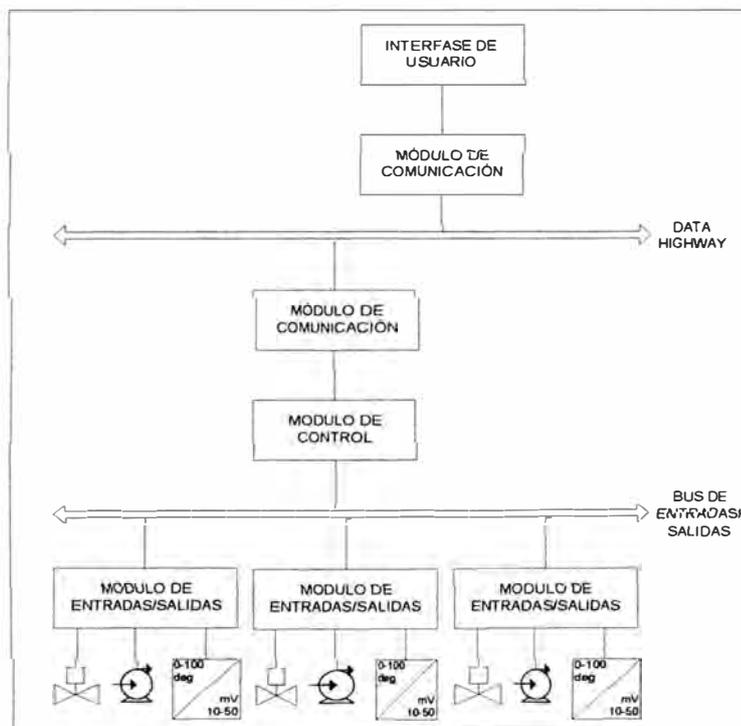
Entonces apareció el Control Supervisor combinado con las ventajas del control de lazos analógicos simples y el Control Digital Directo. Así, el control era estructurado en base a un computador central que genera los *set points* para los controladores de lazo simple llevando a cabo las tareas de control en los elementos finales de control, y si había alguna falla en el computador central, los controladores de lazo simple mantenían el último *set point* o una condición programada contra fallas. Esta es la base de un Sistema de Control Distribuido.

### 2.1.2.a Definición

Un Sistema de Control Distribuido es una colección de módulos basados en microprocesadores que trabajan juntos en un sistema de comunicación en tiempo real para controlar y monitorear la operación de un proceso.

Este sistema combina las ventajas de los sistemas de control analógico de lazos simples, la integridad de un sistema de supervisión y la potencia del control por computadora.

### 2.1.2.b Arquitectura



**Fig.2.2** Arquitectura General De Un Sistema De Control Distribuido

- Módulo de Entrada/Salida

Muestran y digitalizan los datos de entrada y proporcionan las señales de salida para los elementos finales de control. Los tipos de módulos puede ser: módulos digitales de entradas o salidas y módulos analógicos de entradas o salidas.

- Bus de Entradas/Salidas

Proporcionan la comunicación entre los módulos de entrada/salida y los módulos controladores. Opera usualmente a velocidades más lentas que la del bus de datos, los protocolos de comunicación pueden variar entre fabricantes.

- Módulos controladores

Se encargan de leer y actualizar los datos de campo. Además, resuelven problemas de cálculo y lógica para llevar a cabo los cambios en el proceso. Se puede decir que son los verdaderos cerebros de un DCS.

Su función principal es la de actualizar la información de los módulos de entrada/salida. Además poseen memoria donde pueden ser almacenados algoritmos de control, a los cuáles se puede ingresar para configurar el subsistema de control para una aplicación específica.

- Interfases de usuario

Proporcionan indicación visual de las condiciones del proceso y acceso a los parámetros de control. Usualmente, las interfaces de usuario son paneles de operador y estaciones de ingeniería.

Un panel de operador permite al operador visualizar diferentes partes del proceso y manipularlo a través de diversas pantallas. Una estación de ingeniería permite al ingeniero diseñar y configurar el sistema de control, personalizar pantallas y probar las nuevas estrategias de control.

- Bus de datos (*DATA HIGHWAY*)

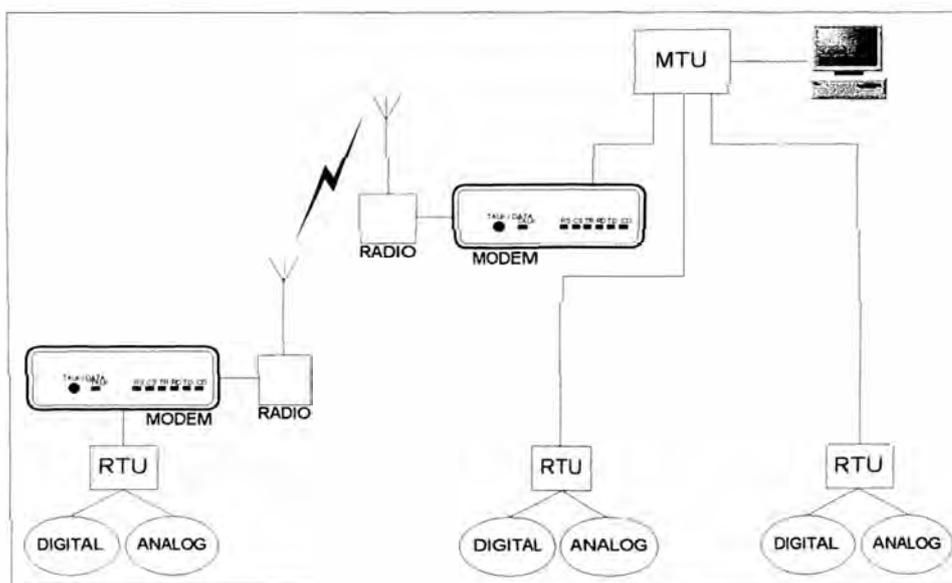
Es la red de comunicaciones alrededor de la planta. Ésta puede ser tanto una red eléctrica como una red de fibra óptica. Por ser la red que concentra todos los datos de una planta es generalmente una red redundante. Muchas de estas redes redundantes son cableadas por otra ruta para prevenir que se dañen ambas.

- Módulos de comunicación

Proporcionan el enlace entre el bus de datos y otros módulos, generalmente módulos controladores e interfaces de usuario. Los DCS también se pueden comunicar actualmente con PLCs.

### 2.1.3 Sistema de control y adquisición de datos

SCADA es una tecnología que permite al usuario recolectar datos de una o más estaciones distantes y/o enviar instrucciones de control a esas estaciones, evitando así ir a las mismas durante condiciones normales de operación.



**Fig. 2.3** Arquitectura General De Un Sistema de Control Y Adquisición De Datos

#### 2.1.3.a Funciones

Un sistema SCADA (compuesto de *software* y *hardware*), debe ser capaz de realizar una o más de las siguientes funciones.

- Alarmas

Es la capacidad de un sistema de supervisión de llevar a cabo una acción predeterminada como respuesta a una condición de alarma

- Analógicas

Es la capacidad de un sistema de supervisión de aceptar, mostrar y grabar señales analógicas sensadas por un transductor o dispositivo externo.

- Control

Es la capacidad de un sistema de supervisión de llevar a cabo operaciones manuales o automáticas selectivamente de equipos externos. El control puede ser tanto analógico como digital.

- Indicación de estado

Es la capacidad de un sistema de supervisión de aceptar, grabar o mostrar el estado de un equipo.

- Acumulador

Es la capacidad de un sistema de supervisión de aceptar y totalizar pulsos digitales y tenerlos disponibles para mostrarlos o grabarlos.

- Secuencia de eventos

Es la capacidad de un sistema de supervisión de reconocer cada evento predefinido, asociar un tiempo de ocurrencia a cada evento, y presentar estos eventos con sus tiempos asociados en orden de ocurrencia.

### **2.1.3.b Elementos**

Un sistema SCADA cuenta con tres elementos principales.

- Unidad terminal maestra (MTU)

Es el dispositivo que se encarga de manejar todos los comandos, recolecta todos los datos del RTU y almacena cierta información. Se encarga también de llevar información a sistemas asociados como una red LAN, y a la interfase con la gente que opera el proceso.

- Sistema de comunicación

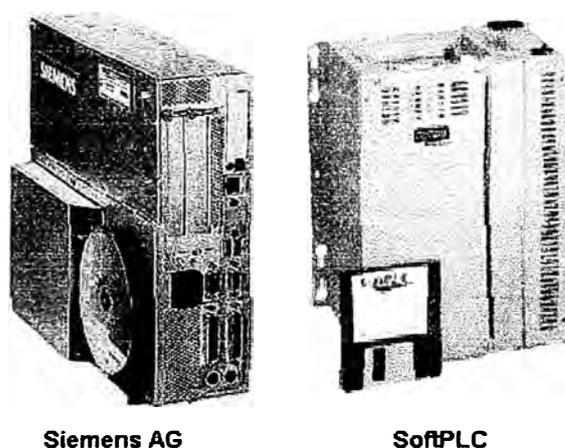
Es el medio por el cual viaja toda la información intercambiada entre el MTU y el RTU, pudiendo ser un medio físico como inalámbrico. Incluye además los equipos necesarios para codificar las señales para su transmisión y recepción como son los MODEMs y radios.

- Unidad terminal remota (RTU)

Se encarga de recolectar la información de los equipos de campo, sea ésta digital, análoga, de alarmas. El RTU retiene toda esta información disponible en su memoria hasta que el MTU se la solicita. Adicionalmente, recibe información del MTU que le indicará si debe actuar sobre algún equipo del proceso.

#### 2.1.4 Automatización basada en computador personal

Los PLCs tuvieron la ventaja de ser diseñados para ambientes industriales severos. Mas, con diseños recientes de computadoras personales con grado de protección industrial, esta ventaja ha sido perdida. Una de las desventajas de los PLCs es que utilizan *software* propietario. Con los computadores personales, se introducen capacidades más rápidas y potentes en menores periodos de tiempo. Históricamente, las velocidades de procesamiento de los microprocesadores para computadores personales, se doblan cada 18 meses; lo cual no sucede con los PLCs.



**Fig.2.4** Fabricantes De Computadoras Personales Para Automatización

Además de esto, el precio de un computador personal es mucho menor al de un PLC de última generación, y ahora se pueden adquirir con cubiertas robustas, sistemas operativos en tiempo real, cuentan con mayor memoria y espacio de almacenamiento entre otras características.

De este modo, los computadores personales han empezado a reemplazar a los PLCs en proyectos de automatización de pequeño y mediano tamaño. Algunos fabricantes de PLCs

a fabricar sistemas de automatización basados en computadores personales y desarrollar estos equipos en paralelo con sus PLCs.

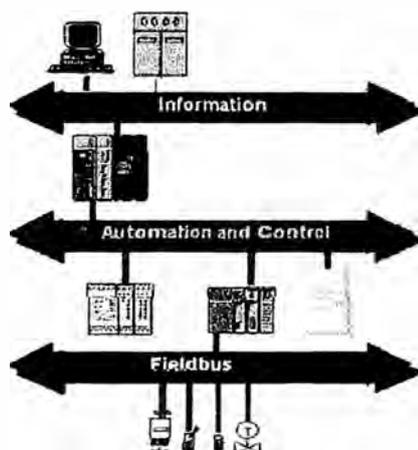
## 2.2 Redes industriales

Las redes industriales son utilizadas para comunicar las distintas jerarquías de comunicaciones existentes en una industria a través de un medio, sea éste físico o inalámbrico. Un modelo simple se basa en cuatro jerarquías.



**Fig.2.5** Modelo De Jerarquía De Comunicaciones En Una Planta

Los tipos de redes de comunicaciones existentes para comunicar cada uno de los niveles existentes, junto con algunos ejemplos de las mismas se muestran en la siguiente figura. Estas las separamos en tres grupos: Redes de Campo, Redes de Automatización y Control, y Redes de Información.



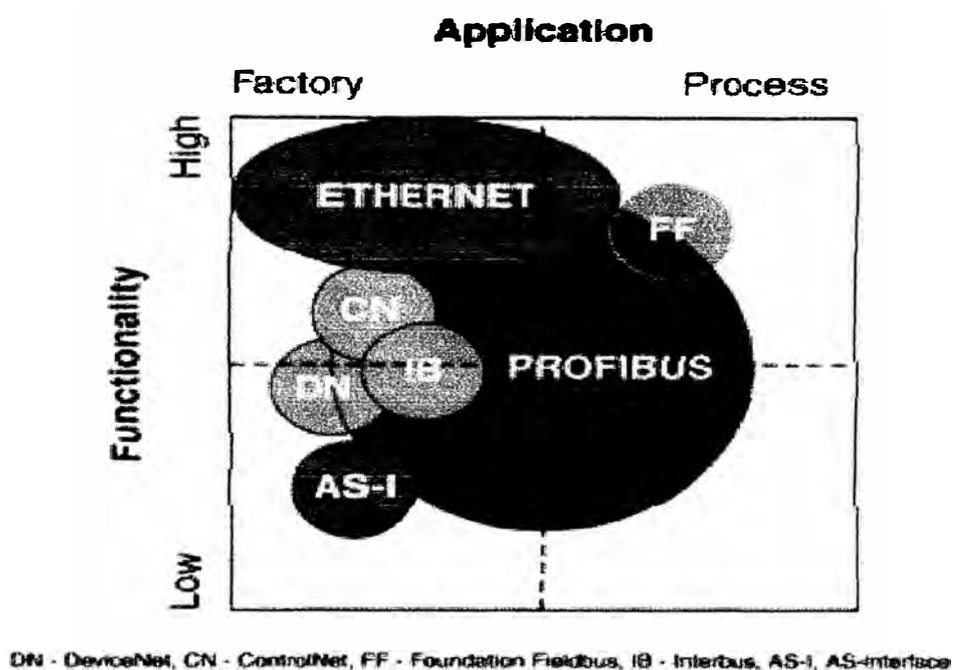
**Fig.2.6** Jerarquía De Redes Industriales

## 2.2.1 Redes de automatización y control

### 2.2.1.a Profibus

PROFIBUS fue establecido primero en Alemania según el estándar DIN 19245 en el año 1989. En 1996 fue ratificado por el estándar europeo EN 50170, y de allí en el año 2000 por el IEC con el estándar IEC 61158, estándar finalizado en el año 2003 junto con el estándar IEC 61784.

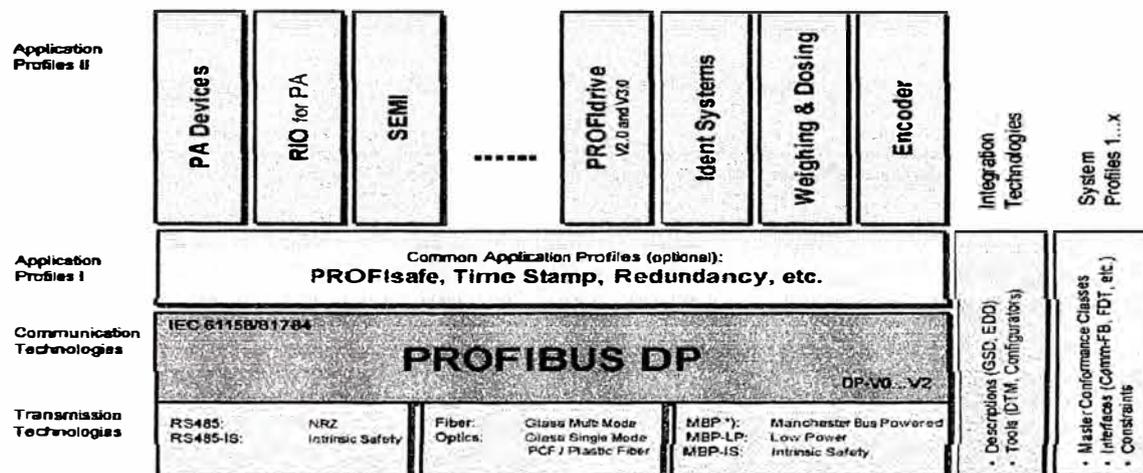
PROFIBUS es tal vez el estándar más desarrollado en lo que respecta a redes industriales, dando lugar a las arquitecturas descentralizadas.



**Fig.2.7 Alcance De PROFIBUS**

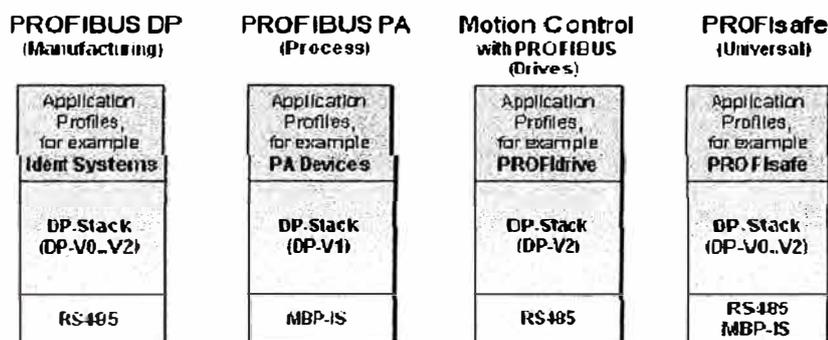
PROFIBUS es un sistema abierto de comunicaciones digitales con un amplio espectro de aplicaciones, particularmente en los campos de automatización de fábricas y procesos, teniendo cada una de ellas distintas necesidades. En la automatización de fábricas se necesitan equipos de alta velocidad y desempeño, muestreo síncrono (maestro – esclavo), respuesta determinística (longitud de trama fija), fuente de alimentación remota, control distribuido utilizando generalmente PLCs; mientras que en la automatización de procesos se necesita un control distribuido asíncrono, sensores inteligentes con fuente de alimentación sobre el bus, grandes cantidades de datos a bajas velocidades, equipos a prueba de explosiones.

PROFIBUS cuenta con un diseño modular y ofrece una variedad de tecnologías de transmisión, tecnologías de comunicación y aplicaciones específicas. Según el modelo de referencia OSI de la ISO, PROFIBUS cubre las capas 1, 2 y 7; capa física, capa de enlace de datos y capa de aplicación respectivamente.



**Fig.2.8** Modelo De Referencia OSI Para PROFIBUS

Desde el punto de vista del usuario, PROFIBUS presenta diversos perfiles de aplicación como resultado de las opciones que se presentan en las tres capas del modelo OSI que cubre PROFIBUS.



**Fig.2.9** Aplicaciones Típicas De PROFIBUS

Los perfiles de aplicación más utilizadas son PROFIBUS-DP y PROFIBUS-PA.

- Profibus DP

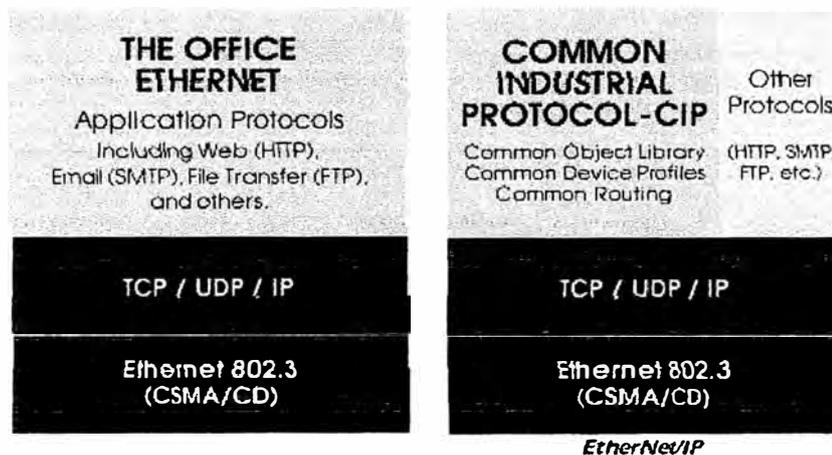
Está centrado en la automatización de fábricas, como tecnología de transmisión utiliza RS 485 sobre un par trenzado apantallado de cobre que posibilita transmisiones de hasta 12Mbps sobre una distancia de 100m y la máxima distancia por la que se puede extender

un segmento es 1200m transmitiendo mínimo a 9.6Kbps. Actualmente también se puede transmitir sobre fibra óptica y hasta por infrarrojo. Existen tres protocolos de comunicación aplicables a PROFIBUS DP: DP-V0, DP-V1 y DP-V2.

## 2.2.2 Redes de información

### 2.2.2.a EtherNet/IP

El protocolo industrial (IP) de Ethernet es un estándar de red industrial abierto, creado por la necesidad de la utilización de Ethernet en aplicaciones de control.



**Fig.2.10** Ethernet/IP

Ethernet/IP se basa en el mismo estándar que la capa física y de enlace de datos de Ethernet (IEEE 802.3), utiliza los mismos protocolos TCP/IP que la capa de transporte, pero además utiliza otro grupo de protocolos de aplicación llamado *Control and Information Protocol* (CIP), con lo cual además de coexistir con los protocolos existentes para Ethernet, proporciona las capacidades de control, configuración y recolección de datos.

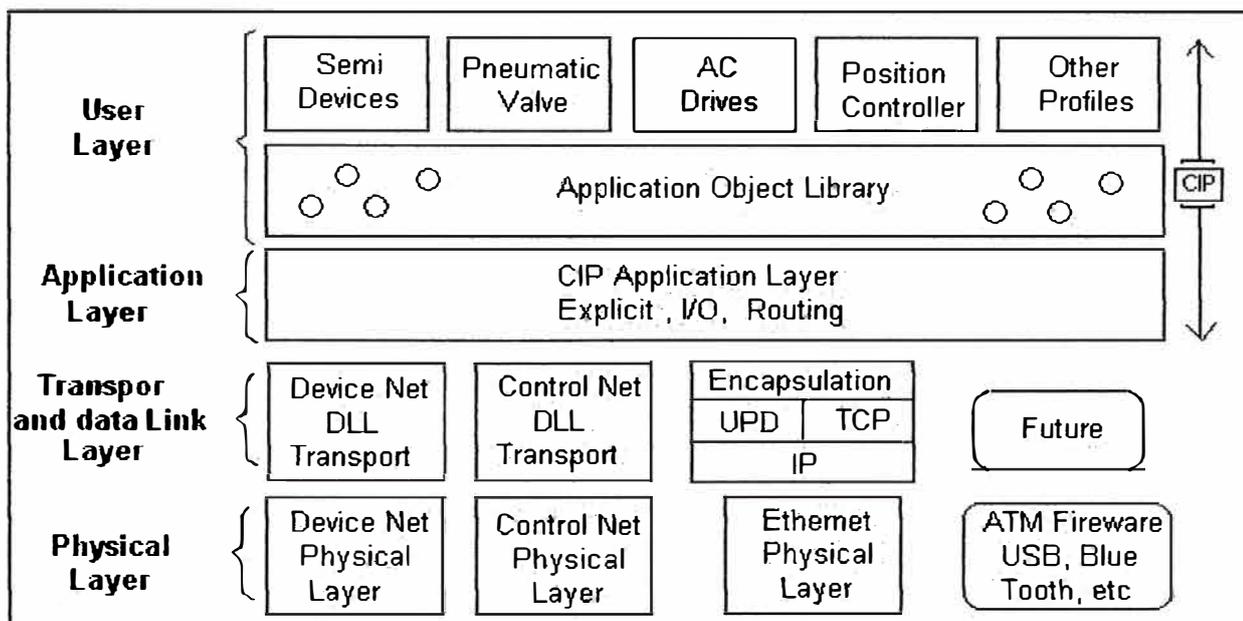


Fig.2.11 Visión General De Ethernet/IP

La especificación de CIP posee tres componentes. La **capa de aplicación CIP** o **CIP Messaging Protocol**, la cual otorga un identificador de conexión o *Connection ID* (CID) cada vez que se establece una conexión para el intercambio de datos. La **librería de objetos** donde se definen los módulos que están definidos para CIP junto con una serie de características que definen cada objeto de manera particular. Los **perfiles**, los cuáles aseguran la similitud entre dispositivos del mismo tipo y poseen características similares como el mismo comportamiento, producen y utilizan las mismas cantidades de entradas/salidas, contienen básicamente el mismo juego de comandos para configurarlos. Esto permite la interoperabilidad y cambio de dispositivos entre distintos fabricantes.

## 2.3 Instrumentación

Se define instrumentación como la “planificación y proporción de instrumentos y sistemas de instrumentos para la recolección, y algunas veces, almacenamiento y análisis de datos”

En esta parte del capítulo se presentan las distintas variables que se necesitaban medir, así como las distintas maneras con las cuáles pueden ser medidas estas variables, junto con sus aplicaciones específicas.

### 2.3.1 Nivel

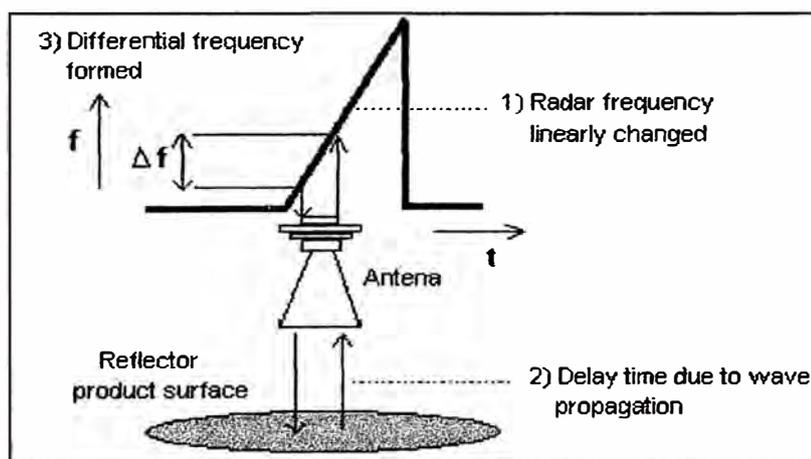
Agrupando estos sensores por su principio de funcionamiento se pueden agrupar los instrumentos para medir nivel en los siguientes casos.

### 2.3.1.a Radar

Dentro de la tecnología de detección de nivel por uso de radar, se encuentran dos métodos. El método de Onda Continua en Frecuencia Modulada (*Frequency Modulated Continuous Wave – FMCW*) y el de Reflejo en el Dominio del tiempo (*Time Domain Reflex – TDR*). El radar proporciona un sensor sin necesidad de contacto físico del material a medir que se ve prácticamente no afectado de variables como cambios de temperatura, cambios de presión, vacío, variaciones en la composición del aire o gases, entre otros. Nos ofrece además de la capacidad de medición de nivel continua, con una variedad de equipos con conexión de 2 hilos, 4 hilos o con integración a alguna red de campo como AS-i o PROFIBUS.

#### a) Onda Continua en Frecuencia Modulada (FMCW)

El radar FMCW utiliza una señal de radio (aprox. 10GHz) emitida por una antena en forma constante, reflejada por la superficie de medición y recibida después de un tiempo de retardo. Durante la medición se emite una frecuencia incrementada en 1GHz, y se mide el diferencial de frecuencia emitida vs. recibida, resultado que es directamente proporcional a la distancia. La diferencia de frecuencia es transformada a su espectro de frecuencias via Transformada de Fourier y la distancia es calculada del espectro.



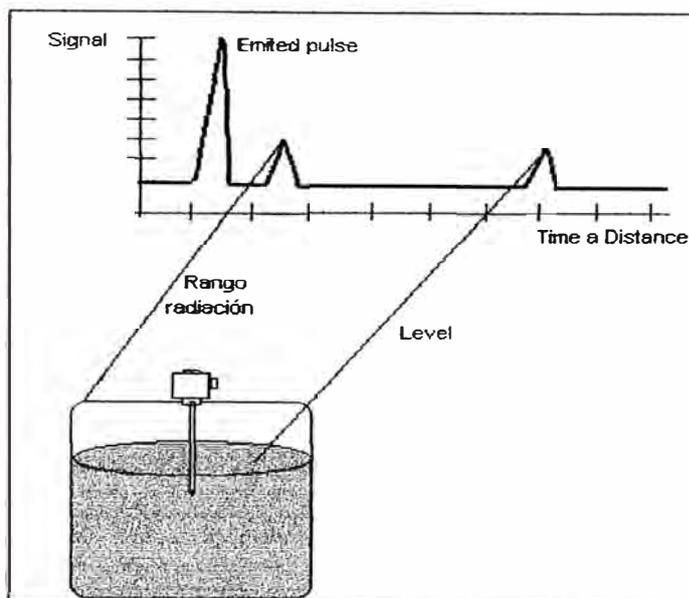
**Fig.2.12** Medición De Nivel Por FMCW

#### b) Reflejo en el dominio del tiempo (TDR)

Se envían pulsos de microondas de pequeña duración (en el orden de los nanosegundos). En el momento en que estas ondas alcanzan la superficie de la sustancia a medir, las ondas son reflejadas por el mismo.

La intensidad de la reflexión depende de la constante dieléctrica de la sustancia, a mayor constante dieléctrica, más fuerte será la reflexión. El instrumento mide el tiempo entre las emisiones y recepciones el cual es proporcional a la distancia.

El polvo, vapor, espuma, entre otros, no afectan la medición del nivel a que en su mayoría poseen una baja constante dieléctrica. Tampoco la temperatura, presión y forma del tanque afectan la medición.



**Fig.2.13** Medición De Nivel Por TDR

### 2.3.2 Temperatura

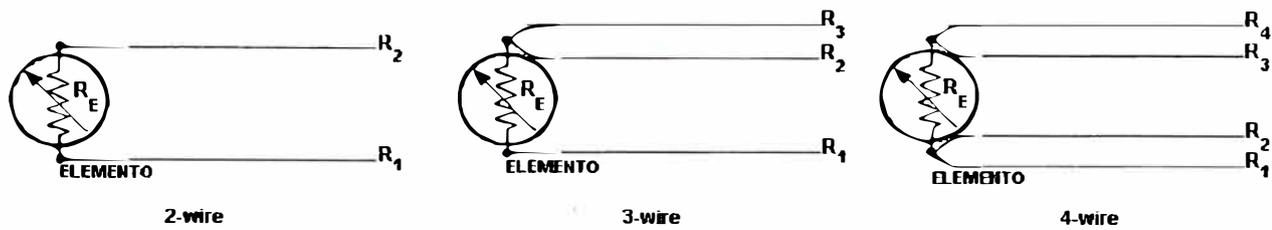
Existe una diversidad de instrumentos para medir temperatura, pero nos referiremos sólo a los empleados en el proyecto.

#### 2.3.2.a PT100

Un PT100 se ubica dentro de una familia mayor de elementos que sensan la temperatura midiendo el cambio de resistencia del material que se utiliza, llamados RTD (*Resistance Temperatura Detector*). El PT100 recibe su nombre debido a que el material que lo conforma es el Platino y que a 0°C su resistencia son 100Ω.

Son características importantes al momento de seleccionar un PT100 el coeficiente de temperatura (ohmios/°C), las dimensiones físicas y la precisión. Las normas que estandarizan los PT100 son la ASTM 1137(en Estados Unidos de Norteamérica) y la IEC 751.

Un PT100 puede ser conectado de distintas maneras, dependiendo de la precisión que se desea lograr y del indicador o controlador que se posee.



**Fig.2.14** Tipos De Conexionado De PT100

Estos 4 modos de conexionado son: **conexionado a dos hilos**, se usa para cortas distancias pues no ofrece una medición muy exacta debido a que al usar cables de extensión se está variando la resistencia inicial del PT100 lo que introduce error. **Conexionado a tres hilos**, utiliza un tercer cable, de las mismas características de los cables de extensión, para compensar el error introducido por los cables de extensión, éste es el método de conexión más común de un PT100. **Conexionado a cuatro hilos**, es utilizado para alcanzar la más alta precisión, en donde una corriente constante se hace circular a través de los hilos 1 y 4 (según la figura) y el voltaje generado por el elemento de platino es medido a través de los hilos 2 y 3.

### 2.3.3 Detección de presencia

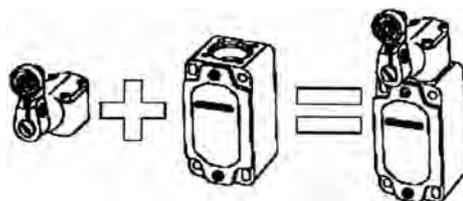
Los detectores de presencia se utilizan en una variedad de aplicaciones, como por ejemplo en sistemas de seguridad para prevenir el funcionamiento de máquinas con compartimiento abiertos, para detectar el desvío de fajas, la pérdida de aceite en reductores, control de rotación, entre otras aplicaciones.

Se pueden separar los sensores de detección de presencia en dos tipos según la tecnología utilizada para la detección.

#### 2.3.3.a Detectores de presencia electromecánicos

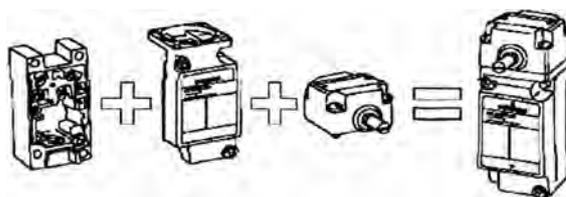
Se caracterizan por tener que hacer contacto físico con el objeto a detectar. Al detectar la presencia del objeto cierran un contacto que es utilizado como enclavamiento eléctrico. La desventaja que presentan es que los elementos que hacen contacto están sujetos a desgaste mecánico. Este tipo de detectores son los denominados interruptores de posición, finales de carrera u algún otro nombre.

Los componentes de un detector de presencia mecánico se diferencian según dos normas existentes, la norma internacional dada por IEC y NEMA especifica que un detector de presencia electromecánico está compuesto por dos partes: el cuerpo y el cabezal.



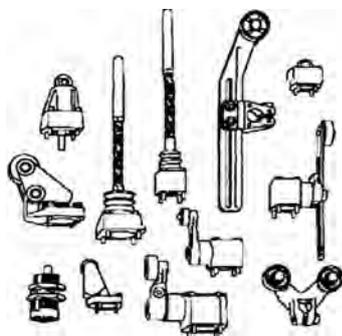
**Fig.2.15** Detectores De Proximidad Electromecánicos Según Norma Internacional

Los estadounidenses siguen normas dictadas por UL y CSA, que estandarizan tres partes para los detectores electromecánicos: el bloque de contacto, el cuerpo del interruptor y el actuador.



**Fig.2.16** Detector De Presencia Electromecánico Según Normas Estadounidenses

Existe una variedad de actuadores y cabezales dependiendo del tipo de aplicación específica para el que se desee utilizar estos detectores.



**Fig.2.17** Cabezales Y Actuadores De Detectores De Presencia Electromecánicos

### 2.3.3.b Detectores de presencia electrónicos

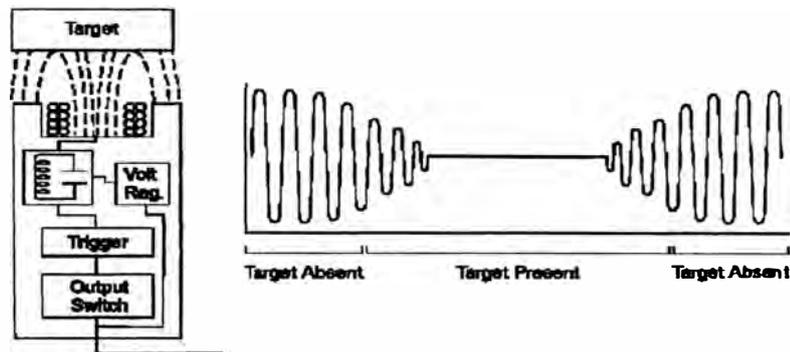
Dentro de este grupo se encuentran la detección de objetos mediante sensores inductivos, capacitivos y fotoeléctricos como los más utilizados.

#### a) Detectores de presencia inductivos

La detección de presencia mediante sensores inductivos se basan en la generación de un campo electromagnético que detecta la presencia de objetos metálicos. Este tipo de sensores poseen cuatro elementos: una bobina, un oscilador, un circuito disparador, y una

salida. El oscilador es un dispositivo que genera una frecuencia de radio, cuyo campo electromagnético es emitido a través de la bobina hacia fuera del sensor.

Cuando un objeto metálico ingresa al campo electromagnético, se genera sobre el una corriente  $H_{edí}$ , lo cual debilita el campo electromagnético generado por el oscilador hasta cierto punto en el cual el circuito disparador activa la salida, hasta que el objeto se aleje lo suficiente como para recuperar el valor nominal del campo.

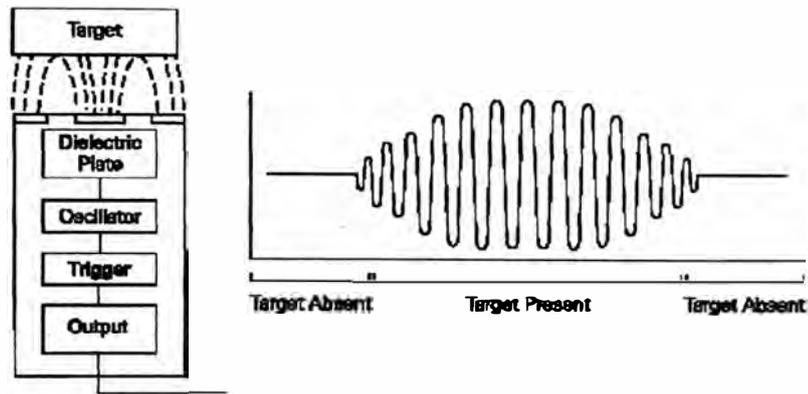


**Fig.2.18** Principio De Funcionamiento Del Detector De Presencia Inductivo

#### b) Detectores de presencia capacitivos

El principio de funcionamiento de los detectores de presencia capacitivos es similar al de los detectores de presencia inductivos, la diferencia radica en que los primeros generan un campo electrostático a diferencia del campo electromagnético que generan los detectores inductivos.

La cara sensible del detector está compuesta de dos electrodos metálicos concéntricos de un condensador. Cuando un objeto se acerca a la superficie del sensor, entra al campo electrostático de los electrodos y cambia la capacitancia en el circuito oscilador. Como resultado el oscilador empieza a oscilar y un circuito disparador sensa la amplitud de la oscilación, y a determinada amplitud cambia el estado de la salida, la cual regresa a su estado original cuando decrece la amplitud.



**Fig.2.19** Principio De Funcionamiento Del Detector De Presencia Capacitivo

### 2.3.4 Actuadores

Un actuador es un transductor que convierte energía eléctrica, hidráulica o neumática en energía mecánica para el movimiento efectivo de un dispositivo.

Los tres tipos de actuadores mencionados pueden transformar la energía mecánica desarrollada en tres tipos distintos de movimientos: lineales, multi-vueltas o limitado a menos de una vuelta.

#### 2.3.4.a Eléctricos

Controlan la apertura o cierre de la válvula o compuerta por medio de una caja de engranajes movidos mediante un motor eléctrico, el cual puede ser de corriente trifásica, monofásica o de corriente continua. Una de las ventajas que presentan es su bajo costo de instalación y mantenimiento.

#### 2.3.4.b Neumáticos

Funcionamiento similar al de un actuador hidráulico, donde el fluido que se transforma en energía mecánica es aire, presurizado por medio de compresoras. Las desventajas que posee son similares a las de un actuador hidráulico.

## **CAPÍTULO III**

### **REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE TRANSPORTE POR FAJA TUBULAR**

El presente capítulo tiene por finalidad orientar los requerimientos para el desarrollo del proyecto “Sistema de Control de Faja Conchan” a implementarse en Cementos Lima S.A., describiendo los puntos más resaltantes que se deben llevar a cabo dentro del proyecto.

El alcance también abarca la elaboración del sistema de Control y supervisión basados en los estándares del CEMAT.

#### **3.1 Descripción del proyecto**

##### **3.1.1 Sistema de Fuerza**

Para el proyecto de la Faja transportadora tubular y sus equipos auxiliares se ha considerado implementar una nueva Subestación Eléctrica en la planta Atocongo y otra nueva Subestación Eléctrica en la planta Conchan, las cuales suministrarán la energía al sistema de fuerza en baja tensión proyectado en cada planta a través de transformadores de distribución.

La Nueva Subestación Eléctrica en la Planta de Atocongo constará de dos transformadores. Estos deben ser alimentados en 6.6 kV desde las nuevas celdas de media tensión a instalar en la Subestación Principal de Cementos Lima. Los transformadores de la nueva subestación serán:

- Transformador 2500 KVA; 6.6/0.46 kV: Para alimentar al nuevo Centro de Control de Motores (CCM).
- Transformador 2500 KVA; 6.6/0.69/0.69, con cajuela kV: Para alimentar a los Convertidores de frecuencia de los motores de 800 kW de la faja tubular.

Los Centros de Control de Motores (CCM) estarán ubicados en la nueva Sala Eléctrica y suministrarán la energía en 440 VAC y 110 VAC a los consumidores eléctricos de los equipos auxiliares.

Los Convertidores de Frecuencia en la planta de Atocongo estarán ubicados en una nueva Sala de Convertidores y deben controlar a cada uno de los accionamientos principales de la Faja transportadora tubular en 690 VAC.

### **3.1.2 Sistema de Control**

Para el sistema de control de la faja y sus auxiliares se ha considerado implementar un PLC y periferia distribuida en la planta Atocongo, y Periferia distribuida en las Estaciones de control ubicadas a lo largo del túnel.

El PLC de la planta Atocongo (PLC15) será conectado a la red ethernet de fibra en anillo que se tiene instalada en la planta.

Este PLC 15 contará con dos redes Profibus DP:

- Una red Profibus DP en cobre para la conexión de los tableros de periferia distribuida a instalar en las diferentes zonas de la planta Atocongo y que recibieran las señales de la faja tubular y equipos auxiliares.
- Una segunda red Profibus DP en fibra monomodo y en anillo para los cuatro convertidores de frecuencia de los accionamientos principales de la faja y para la periferia distribuida de las estaciones de control ubicadas a lo largo de túnel.

Las Periferias Distribuidas ubicadas en las estaciones de control a lo largo del túnel permitieran controlar el encendido y apagado del alumbrado en el túnel, las sirenas de arranque de faja, recibir la información de los instrumentos de seguridad de la faja (interruptores de tirón y de desalineamiento), de los medidores multifunción (interfase Profibus DP) y de otros equipos a instalar en las estaciones como los UPS. Serán controladas por el PLC15 de la planta Atocongo a través de la red Profibus DP a instalar en el túnel, indicada anteriormente.

La filosofía de operación es en forma automática con un Sistema de Control Supervisado basado en PLC's. En general, los equipos pueden ser comandados en modo local o en modo remoto; para el primer modo, la operación se realizará desde los selectores de mando local ubicados al pie de cada equipo con las funciones Remoto/Cero/Local/Conexión Local; para el segundo modo, la operación se realizará desde la Sala de Control Principal de Cementos Lima ubicada en la Planta Nueva de Atocongo.

## **3.2 Diagramas de flujos para el proceso**

A continuación mostramos los diagramas de flujo del proceso por zonas:

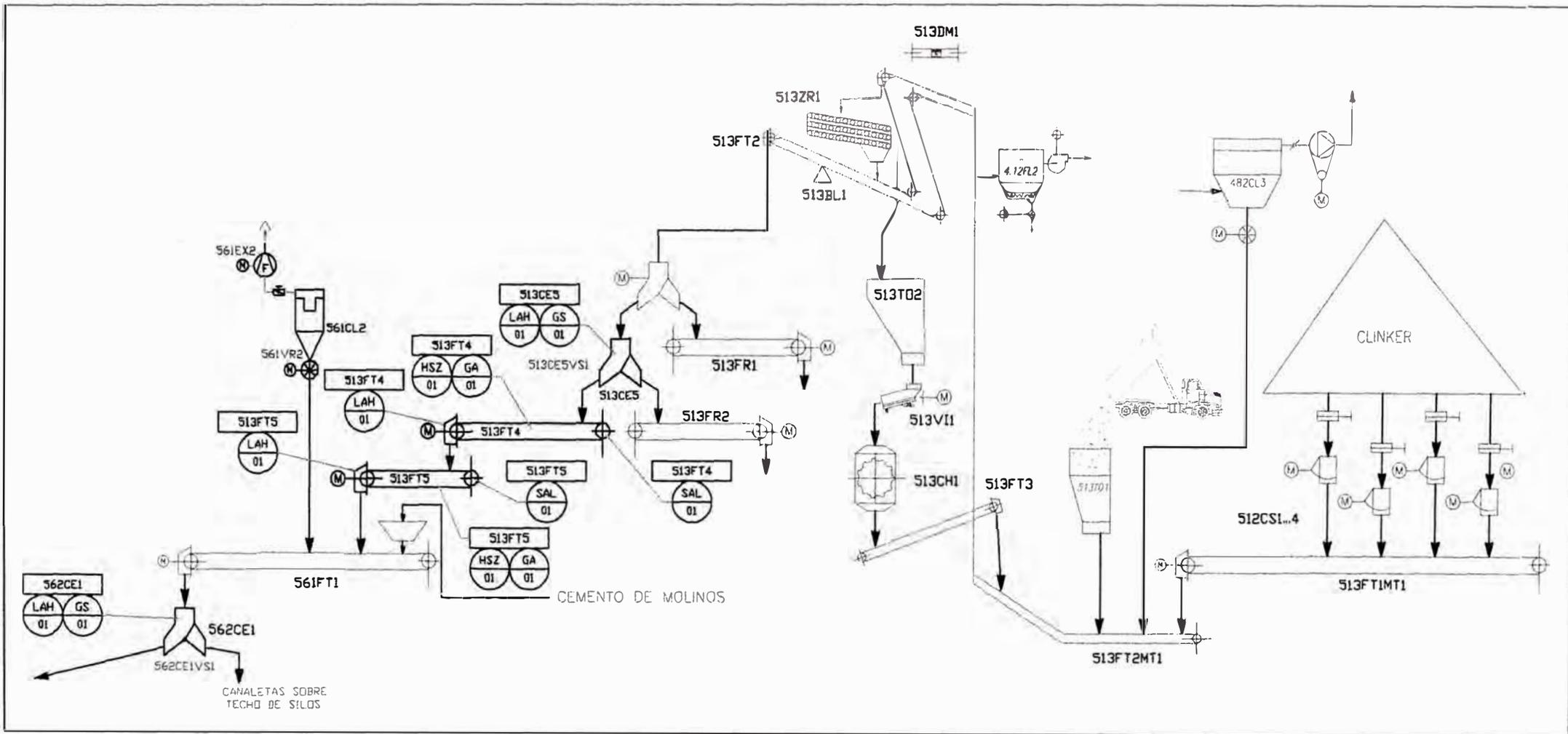


Fig.3.1. Diagrama De Flujo Zona Cancha De Clinker

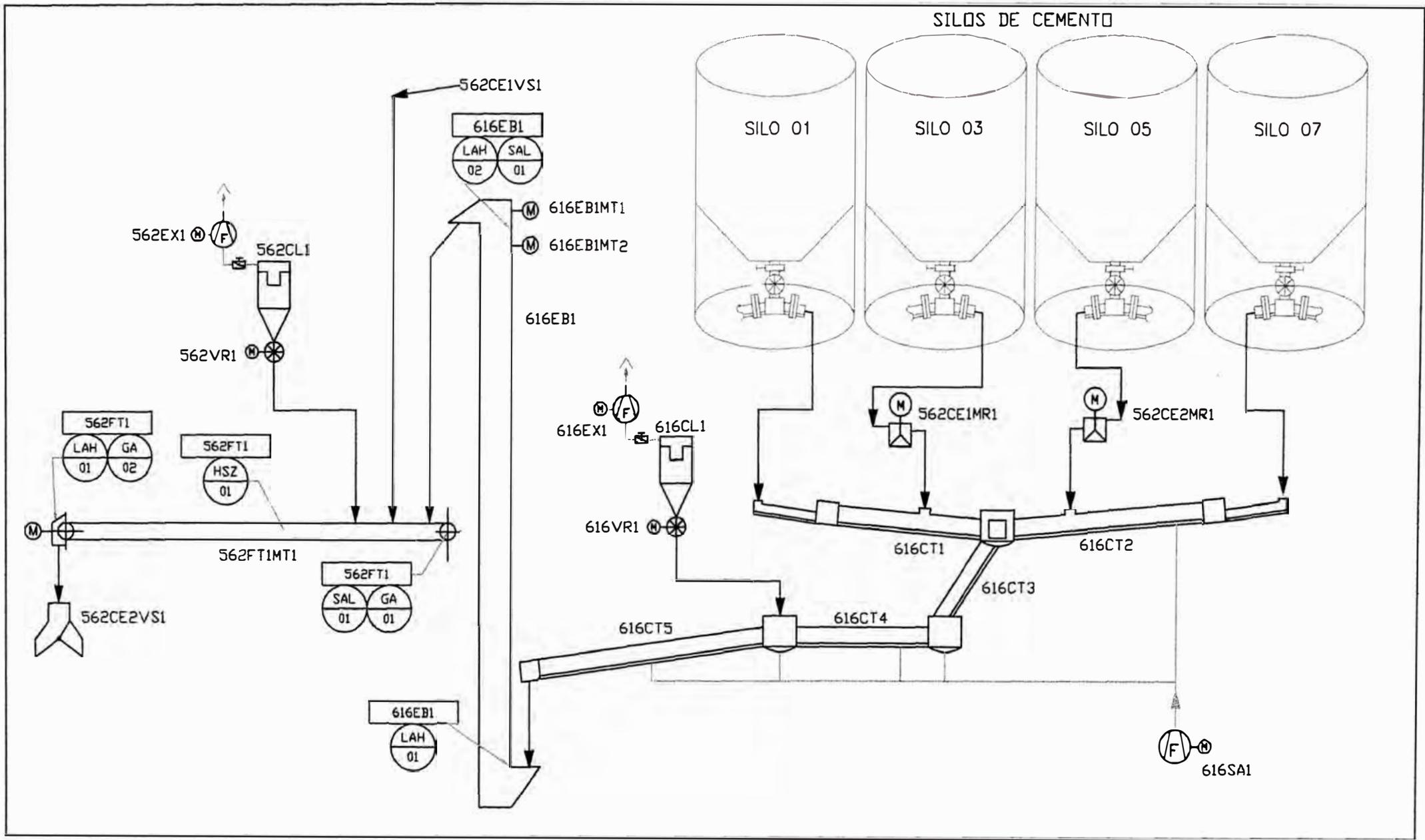


Fig.3.2. Diagrama De Flujo Zona Silos De Cemento



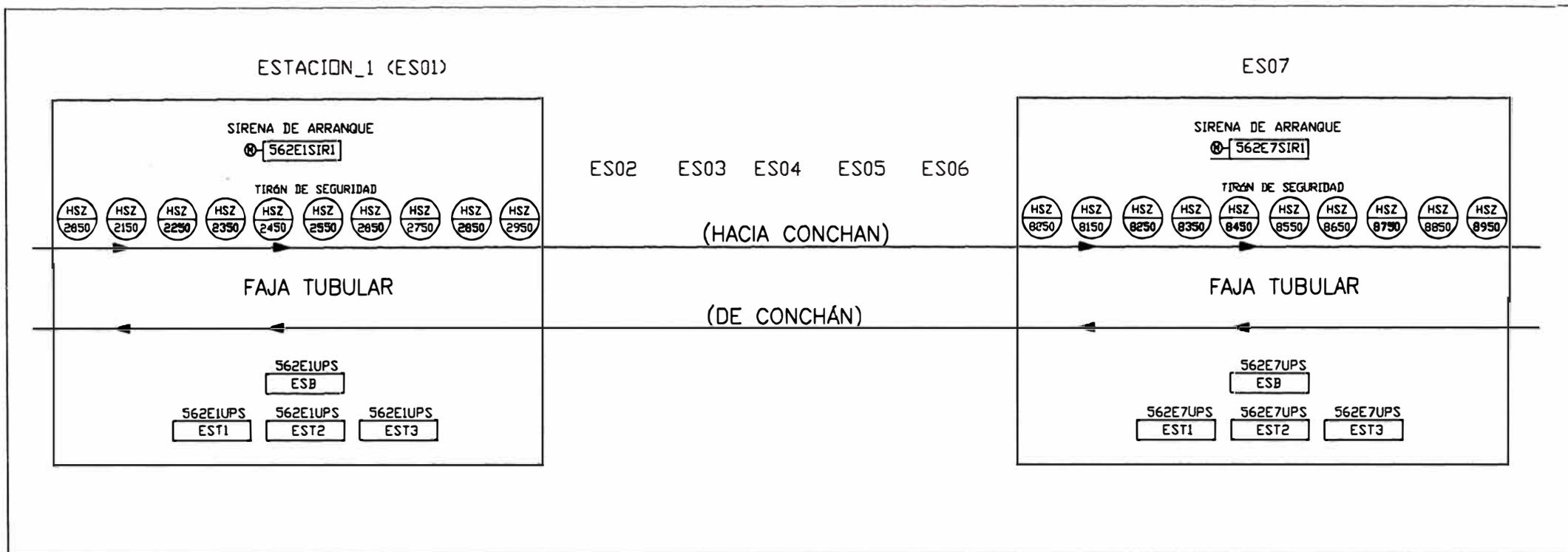


Fig.3.4 Diagrama De Flujo Zona De Túnel

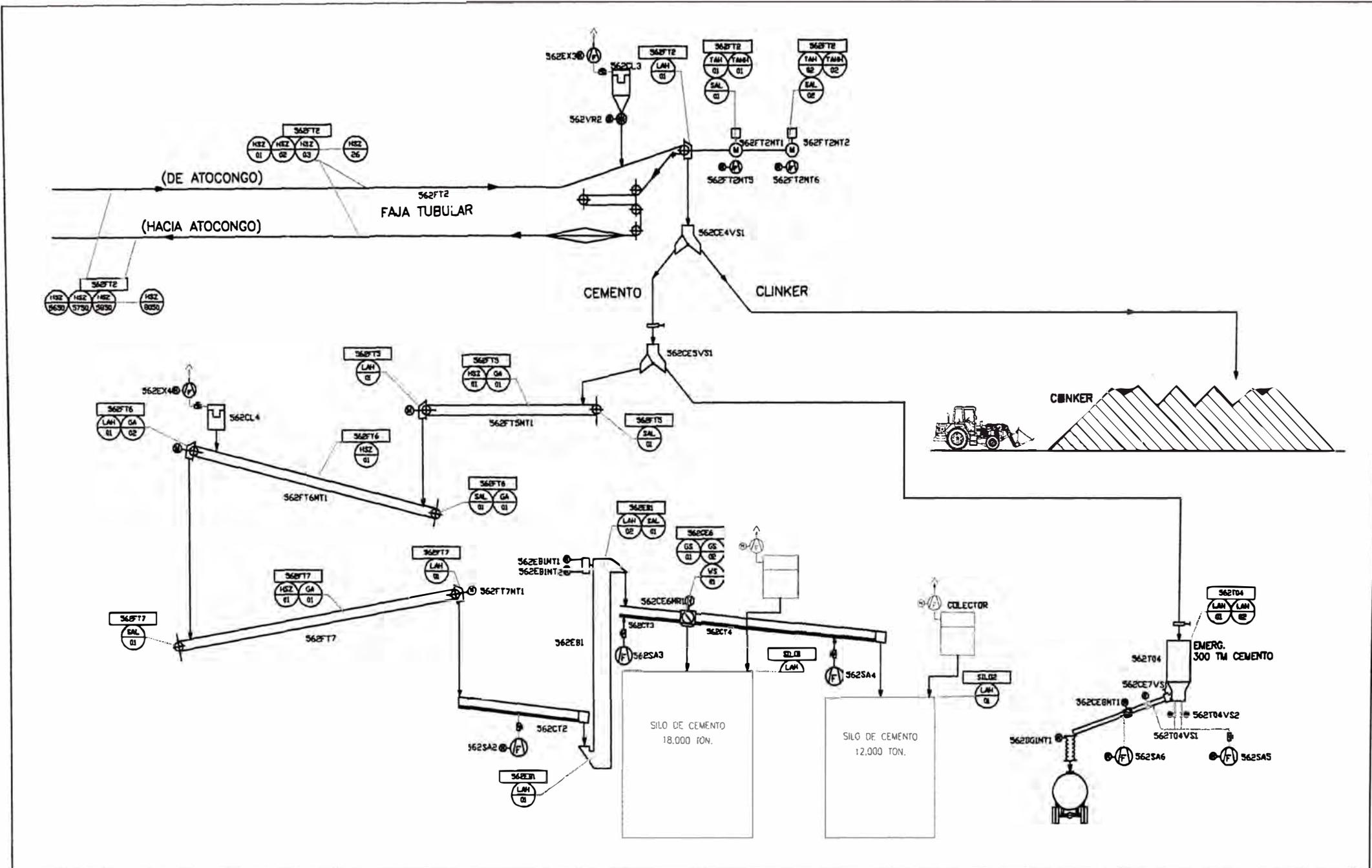


Fig.3.5 Diagrama De Flujo Muelle De Conchan Recepción

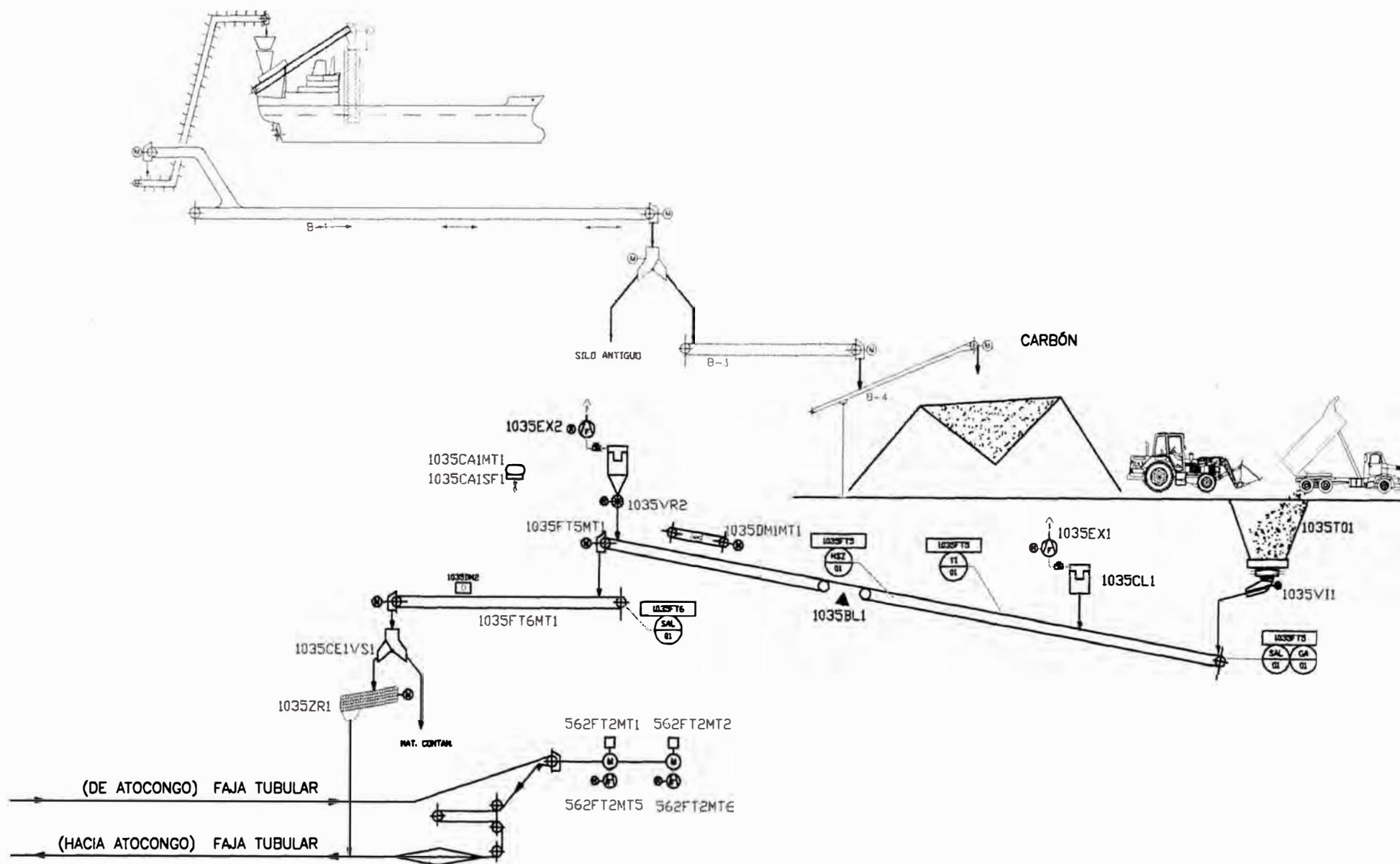


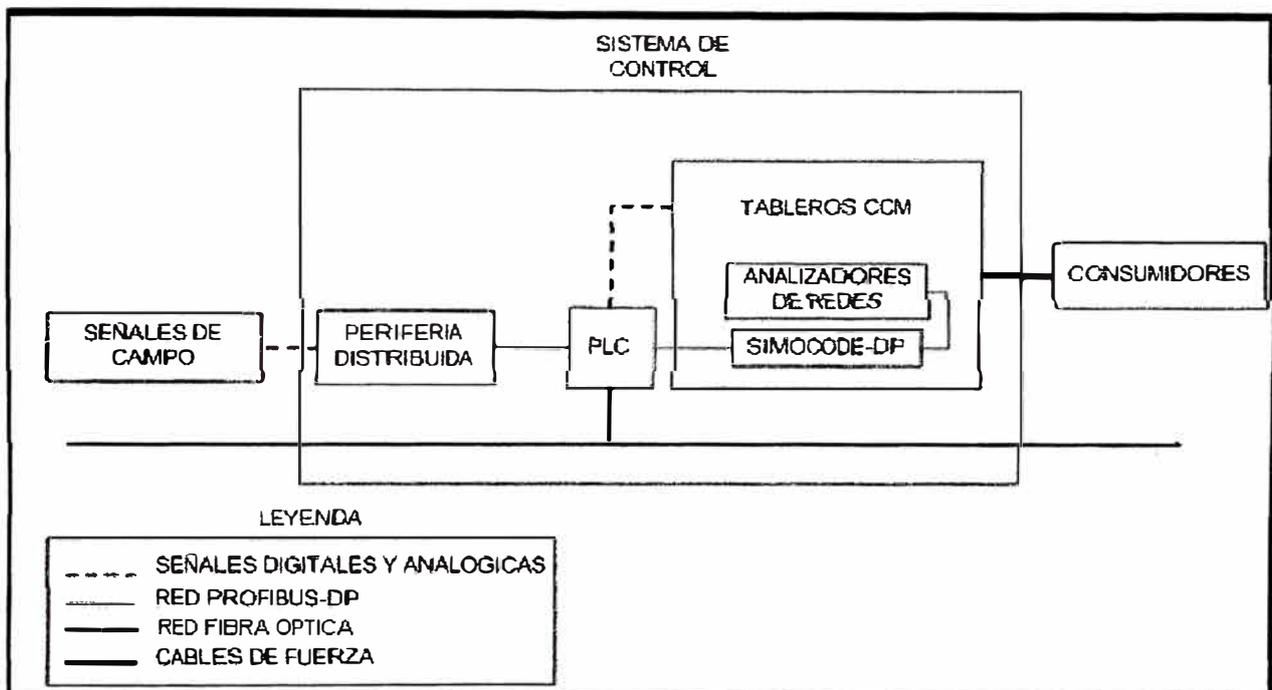
Fig.3.6 Diagrama De Flujo Muelle De Conchan Envío

### 3.3 Diseño e implementación del nuevo sistema de transporte por faja tubular

El diseño del sistema de control para la automatización de la faja, se hizo tomando como base la existente en toda la producción del proceso en general, esto para mantener el orden en el sistema que ya era conocido por los trabajadores de la planta.

El diseño se ha realizado sobre la tecnología de control, instrumentación y el equipamiento eléctrico, todo de última generación el cual da una mayor flexibilidad para su instalación, configuración y diagnóstico.

El diagrama de bloques general del sistema implementado se puede ver en la Fig.3.7 y se desglosará en el transcurso del presente capítulo.



**Fig.3.7** Diagrama De Bloques Del Nuevo Sistema De Control

#### 3.3.1 Red Industrial

##### 3.3.1.a Red a través de Fibra Óptica

Los PLCs de la planta se encuentran comunicados entre si y con la interfase de los operadores mediante un bus de automatización, control e información de datos, todo ello está a través de fibra óptica. El PLC se conecta y la red de fibra con un módulo de interfase llamado OLM (Optical Link Module) que va permitir la comunicación del profibus a fibra.



TABLA N° 3.1 Características Del OLM

Characteristics	Device type		
	OLM P11 V4.0 OLM P12 V4.0	OLM G11 V4.0 OLM G12 V4.0 OLM G12-EEC V4.0	OLM G11-1300 V4.0 OLM G12-1300 V4.0
<b>Power supply</b>			
Operating voltage	24 VDC protection low voltage permitted voltage range 18..32 VDC NEC Class 2		
Current consumption	max. 200 mA		
Output voltage for bus connection end RS-485 (Sub-D jack, Pin6)	5 VDC+5/-10%.		
<b>Signaling Contact</b>			
Function	floating contact, opens in case of error		
Voltage	CE: max. 50 VDC/30 VAC protective low voltage cULus: max. 30 VDC/30 VAC protective low voltage		
Current	max 1.0 A		
<b>Signal transmission</b>			
Transmission rate	9.6, 19.2, 45.45, 93.75, 187.5, 500 kbit/s 1.5, 3, 6, 12 Mbit/s		
Setting transmission rate	automatically		
<b>Climatic ambient conditions</b>			
Ambient temperature during operation	-20 °C..+60 °C for OLMG12-EEC 0 °C..+60 °C for all other OLMs		
Storage and transport temperature	-40 °C..+70 °C		
Relative air moisture	100%, condensing for OLMG1x EEC <95%, not condensing for all other OLMs		
<b>Mechanical ambient conditions</b>			
Swing operation	10..58 Hz, 0.075 mm deflection 58..150 Hz, 1 g acceleration		
Swing transport	5 Hz..9 Hz, 3.5 mm deflection 9 Hz..500 Hz, 1 g acceleration		
Vibration in operation	150 m/s <sup>2</sup> , 11 ms period		
Shock in operation	150 m/s <sup>2</sup> , 10 ms		
Shock packed	250 m/s <sup>2</sup> , 6 ms		
Free fall unpacked	10 cm		
Free fall packed	30 cm in product packaging 1 m in shipping packaging		
<b>Miscellaneous information</b>			
Degree of protection	IP40		
Dimensions	39.5 x 110 x 72.2 mm		
Housing material	stainless steel, 1,4016		
Weight	approx. 320 g		
Silicone	the device is free of silicone		

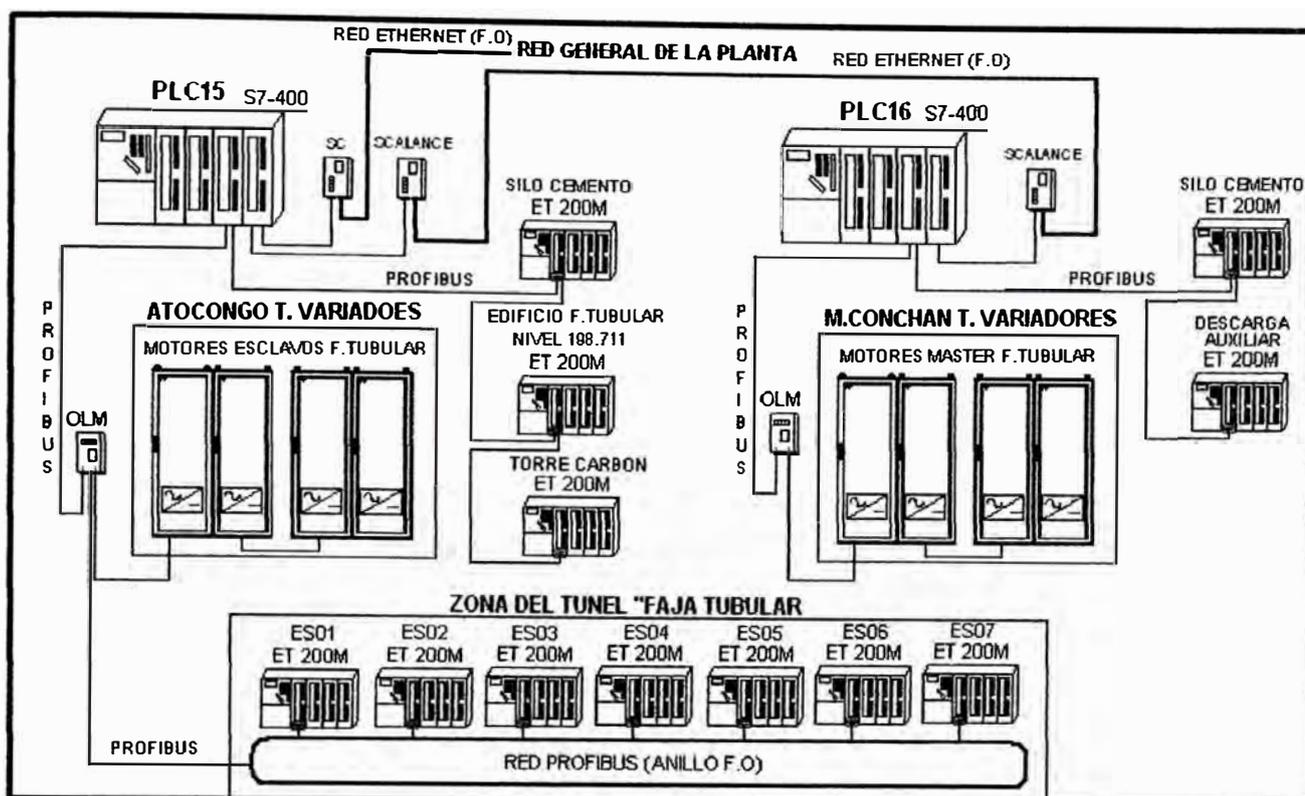


Fig.3.10 Esquema De Red Integrada al Proceso

### 3.3.1.b Red Profibus DP

El bus de campo utilizado para la adquisición de datos es la solución que ofrece Siemens a lo que son sistemas de entrada/salida distribuidos, la familia SIMATIC ET-200, todos ellos utilizando como red de comunicación de datos PROFIBUS DP.

Siemens ofrece diversos sistemas de comunicación distribuida ET-200, en la siguiente figura se puede encontrar el modelo y aplicación de cada uno de los sistemas ET-200.

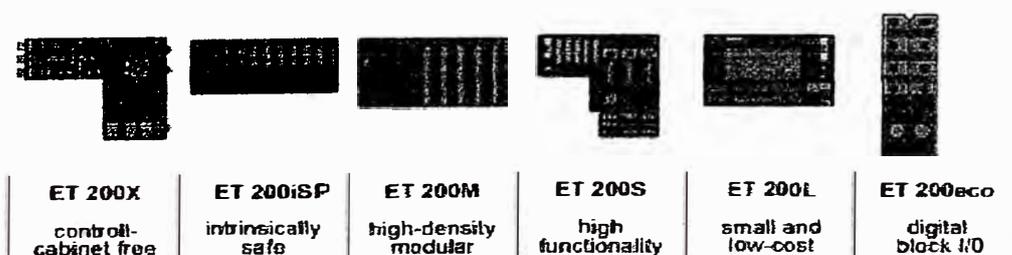


Fig.3.11 Familia SIMATIC ET-200

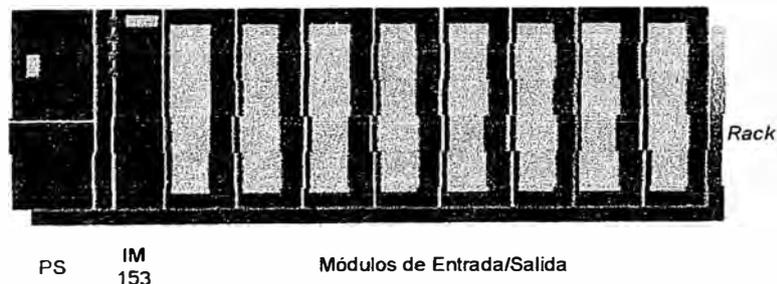
La razón para escoger el sistema ET-200M fue la alta cantidad de datos que se pueden manejar gracias a que está diseñado para utilizar los módulos de entradas/salidas y módulos adicionales de un PLC S7-300.

El medio de transmisión utilizado en este proyecto fue el cable estándar PROFIBUS DP, el cual fue entubado en tuberías conduit de 3/4" para diferenciarla de la tubería de la red SINEC H1. Una vez seleccionado el medio de transmisión, se pasó a escoger la velocidad de transmisión utilizando la tabla 3.3 proporcionada por el fabricante, de donde se ha decidido utilizar una velocidad de conexión de 187.5Kbps porque es la velocidad máxima que se puede alcanzar debido a la longitud de la red PROFIBUS DP más larga que se tiene es de aproximadamente 800m.

**TABLA N° 3.2 Selección De Velocidad De Red PROFIBUS DP**

Transmission Rate in Kbps	Segment Length for Cable Type	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- FC Standard Cable</li> <li>- FC Robust Cable</li> <li>- FC FRNC Cable</li> <li>- FC Food Cable</li> <li>- FC Underground Cable</li> <li>- SIENOPYR-ER Marine Cable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- FC Trailing Cable</li> <li>- PROFIBUS Flexible Cable</li> <li>- PROFIBUS Festoon Cable</li> </ul>
9.6	1000 m	900 m
19.2	1000 m	900 m
45.45	1000 m	900 m
93.75	1000 m	900 m
187.5	1000 m	700 m
500	400 m	400 m

El sistema de comunicación distribuida ET-200 se monta sobre un *rack* y necesita una fuente de alimentación o PS, una interfase PROFIBUS DP y las tarjetas de entradas/salidas digitales o analógicas.



**Fig.3.12 Componentes Básicos De Una ET-200M**

Existen *racks* de diferentes medidas y modelos para montar las tarjetas para la periferia distribuida ET-200M, el modelo escogido fue el de código 6ES7195-1GF30-0XA0 que es un *rack* de 530mm en el que cabe un fuente, una interfase PROFIBUS DP y 8 tarjetas de entradas/salidas.

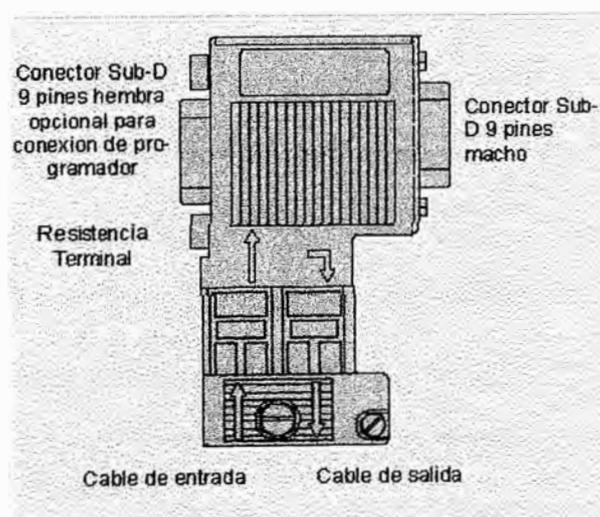
Los modelos de PS disponibles para montar sobre el *rack* son las fuentes modelo SITOP de Siemens, estas fuentes son de 220VAC/110VAC a 24VDC. Existen fuentes SITOP de 2A, 5A y de 10A. Se decidió utilizar las fuentes SITOP de 5A en cada una de las periferias distribuidas para alimentar las tarjetas necesarias y en algunos casos alimentar equipos adyacentes que necesiten una alimentación externa.

Las tarjetas de interfase PROFIBUS DP de Siemens son la familia IM 153, se cuenta con tarjetas que utilizan como medio de transmisión de datos un cable de cobre de 2 hilos o fibra óptica, existen además tarjetas que soportan redundancia de red. La tarjeta escogida para cada periferia es la IM 153-1.

**TABLA N° 3.3** Características IM 153-1

IM 153-1	Interfase simple de E/S para tarjetas SM, FM y CP Interfase RS 485 IM 153-1 adicionales para condiciones ambientales extremas
IM 153-2 IM 153-2 FO	Interfase de E/S para tarjetas SM, FM y CP Interfase RS 485 y Fibra Óptica Redundancia con 2 IM 153-2 Transfiere parametrización de datos a dispositivos de campo inteligentes
IM 153-3	Interfase redundante PROFIBUS DP Interfase RS 485

A la tarjeta de interfase PROFIBUS DP, se debe agregar el tipo de conector seleccionado. Hay una diversidad de conectores, los cuáles se diferencian por el ángulo de conexión a la tarjeta de interfase (30°, 35°, 90°, 180°), por el material de fabricación, por la facilidad de conexión del cable PROFIBUS DP y porque algunos cuentan con un conector adicional para poder conectar el programador del PLC.



**Fig.3.13** Conector PROFIBUS DP

En este caso se escogieron 3 tipos de conectores PROFIBUS DP, unos con ángulos de conexión de 35°, otros con ángulo de conexión de 90° y algunos con conector adicional para programador.

Los módulos de entradas/salidas digitales/analógicas se escogieron teniendo en cuenta los siguientes requerimientos:

- Debido a la gran cantidad de entradas/salidas se necesitaba de módulos con la mayor cantidad de de conexiones disponibles.
- Las entradas digitales se estandarizaron a un voltaje de 110VAC.
- Las salidas digitales debían ser capaces de aceptar una conexión de 110VAC como de 220VAC.
- Las entradas analógicas debían ser configurables capaces de aceptar lectura de señales de corriente en escala de 0 – 20mA, 4 – 20mA con conexión 2 o 4 hilos, 0 – 10V, Pt100 y de ser posible termocupla tipo K.
- Las salidas analógicas debían ser configurables de 0 – 20mA y de 4 – 20mA.

Con estos criterios de selección, se decidió utilizar los módulos que figuran en la siguiente tabla.

**TABLA N° 3.4 Módulos De Entrada/salida Digital/analógica Seleccionados**

<b>Salida Analógica</b>			
Variable fisica medida	Corriente	Voltaje	
Rangos de Medida	± 20 mA, 0 - 20 mA 4 - 20 mA	0 - 10 V, 1 - 5 V ±10 V	
Número de Canales	4	4	
Número de Grupos	4	4	
Tipo de Conexión	2 hilos		
Porcentaje de Error	± 0.6%	± 0.5%	
Resolución	12 bits	12 bits	
Tiempo de Conversión	0.8ms	0.8ms	
<b>Entrada Analógica</b>			
Variable fisica medida	Corriente	Voltaje	Temperatura
Rangos de Medida	± 20 mA, 0 - 20 mA 4 - 20 mA	± 10 mV, ± 50 mV ± 500 mV, 1 - 5 V ± 1 V, ± 5 V	Pt100, Ni100 Ni1000 I.G-Ni1000
Número de Canales	8	8	8
Número de Grupos	1	1	1
Tipo de Conexión	2 o 4 hilos		
Porcentaje de Error	± 0.5%	± 1%	± 1%
Resolución	12 bits + signo	12 bits + signo	12 bits + signo
Tiempo de Conversión	<70ms	<70ms	<140ms
<b>Entrada Digital</b>			
Voltaje	DC		
Voltaje de Entrada	120 V		
Retardo de Entrada			

de 0 a 1	Máx. 15ms	
de 1 a 0	Máx. 25ms	
Número de Canales		32
<b>Salida Digital</b>		
Voltaje	DC/AC	
Voltaje de Salida		
DC	24 - 120 V	
AC	24 - 230 V	
Corriente de Salida	Máx. 2 A	
Número de Canales		16

### 3.3.2 Controladores lógicos programables

Los controladores lógicos programables (PLC) utilizados en la automatización de la faja son de la marca Siemens, se decidió escoger de la familia S7, un modelo de CPU S7-400, los cuáles son los más avanzados de su generación, y a su vez, dentro de este modelo se escogió un CPU 416-3 DP, pues el SCADA instalado en planta requiere un CPU 416-2 como mínimo debido a la capacidad de memoria necesaria, la velocidad de procesamiento, el número de bloques que se pueden programar y la cantidad de canales de entradas/salidas que se pueden direccionar; pero se ha optado por colocar uno de mayor potencia debido a la cantidad de esclavos PROFIBUS DP que manejaría el PLC, este modelo de PLC cuenta con un puerto PROFIBUS DP integrado, un puerto de programación MPI/DP.

**TABLA N° 3.5 Características De CPU 416-3 DP**

<b>CPU 416-3 DP</b>	
<b>Memoria de Trabajo</b>	
Integrada	1.6MB programa/1.6MB datos
<b>Memoria de Carga</b>	
Integrada	256KB RAM
Expandible	Hasta 64MB con tarjeta de memoria
<b>Backup</b>	
Con batería	Todos los datos
<b>Temperatura de Ejecución</b>	
Operaciones binarias	0.08µs
Operaciones de palabras	0.08µs
Suma operandos punto fijo	0.08µs
Suma operandos punto flotante	0.08µs
<b>Contadores</b>	
Cantidad	512
Rango	0 - 999
<b>Temporizadores</b>	
Cantidad	512
Rango	10ms - 9990s
<b>Resolución</b>	
Tamaño máximo	64KB
Bloque de función (FB)	2048
Bloques (FC)	2048

Bloques de Datos (DB)	4096
<b>Canales Digitales (DI/DO)</b>	
Número	131072/131072
<b>Canales Analógicos (AI/AO)</b>	
Número	8192/8192

\* tiempos mínimos

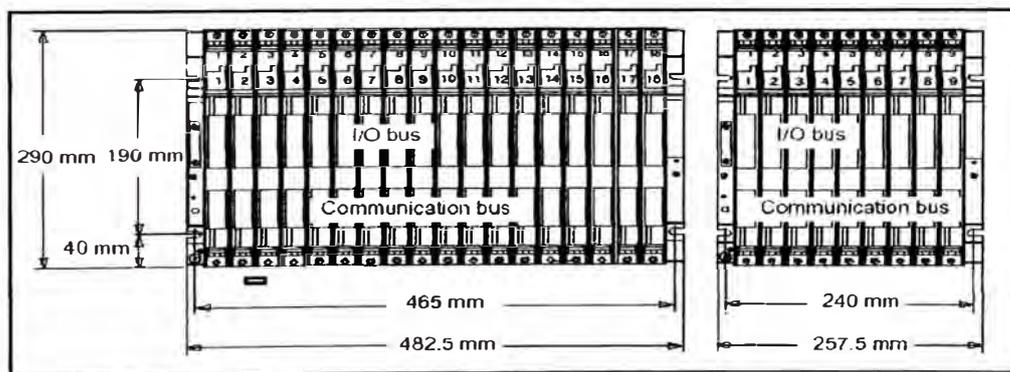
La fuente de alimentación utilizada fue una de 10A de 110/220 VAC que entrega a la salida 5.1/24 VDC y cuenta con la opción de colocarle 2 baterías de *backup*.

Para la comunicación a través de la red Industrial Ethernet, se utiliza una CP 443-1, la cual cuenta con un puerto RJ-45 y otro AUI.

Se ha decidido separar el proyecto en dos PLCs 416-3 DP, uno de los cuáles controla las zonas de carga de material en Atocongo y el otro, la zona del muelle de Conchan llamados PLC15 y PLC16 respectivamente.

Cada CPU y su respectiva CP deben ser montados en un *rack*, que permite realizar la conexión mecánica y eléctrica entre los módulos del PLC S7-400. En la línea de los PLC S7-400 existen 3 tipos de *racks*, los UR (*Universal Rack*), CR (*Central Rack*) y ER (*Expansion Rack*). El *rack* seleccionado fue un *rack* del tipo UR, dentro de los *racks* UR existen 2 versiones, el UR1, que es un *rack* con 18 *slots* y el UR2 que tiene 9 *slots*.

Se eligió finalmente el *rack* UR2 pues no se necesitaba un *rack* con tantos *slots*, pues en el sistema de control con periferia distribuida todos los módulos de entrada/salida iban a ser montados en los *racks* de la periferia PROFIBUS DP.



**Fig.3.14** Estructura De Los Racks UR1 Y UR2

### 3.3.2.a PLC15 y PLC16

El PLC 15 cuenta con un CPU 416-3 DP con una tarjeta de comunicación CP 443-1. Existen 14 periféricas (ET-200M) conectados en 2 redes profibus, el sistema IBAU y los Masterdrives (de cabeza y cola) también están configuradas como esclavos a éste PLC.

El PLC 16 cuenta con un CPU 416-3 DP con una tarjeta de comunicación CP 443-1. Existen 8 periféricas distribuidas (ET-200M), una balanza shenck y un micromaster para el silo de carbón, todos configurados como esclavos.

### 3.3.3 Instrumentación

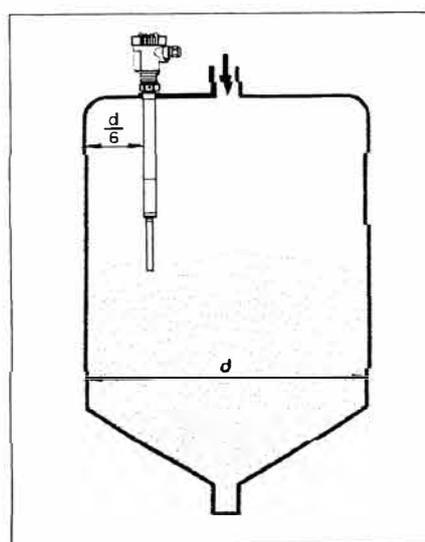
Se tienen instrumentos para medir diferentes señales físicas y transformarlas a señales analógicas que pudieran aceptar los módulos del PLC.

#### 3.3.3.a Nivel

Dentro de la instrumentación para la medición de nivel se necesitaba contar con dos tipos de medidas.

- Medición de nivel de punto fijo

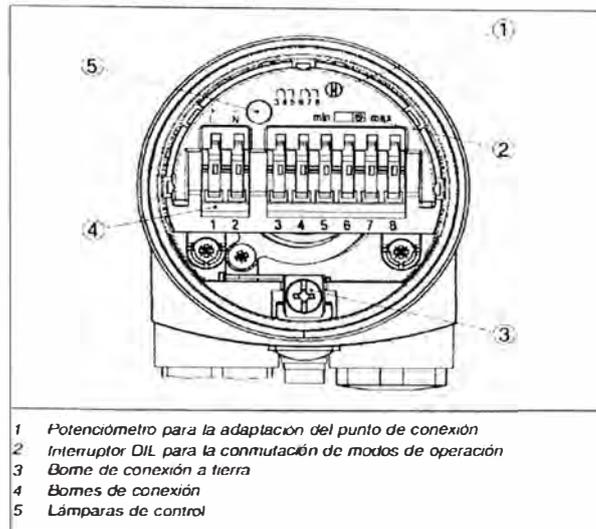
Para la medición de nivel de punto fijo, se utilizó equipos de la marca VEGA.



**Fig.3.15** Diagrama General Sensor de Vibración

Para los niveles de altura en los chutes de las fajas, silo de clinker y tolvas de descarga se utilizaron los sensores de vibración VEGAVIB61. Cuando los sólidos presionan, aunque

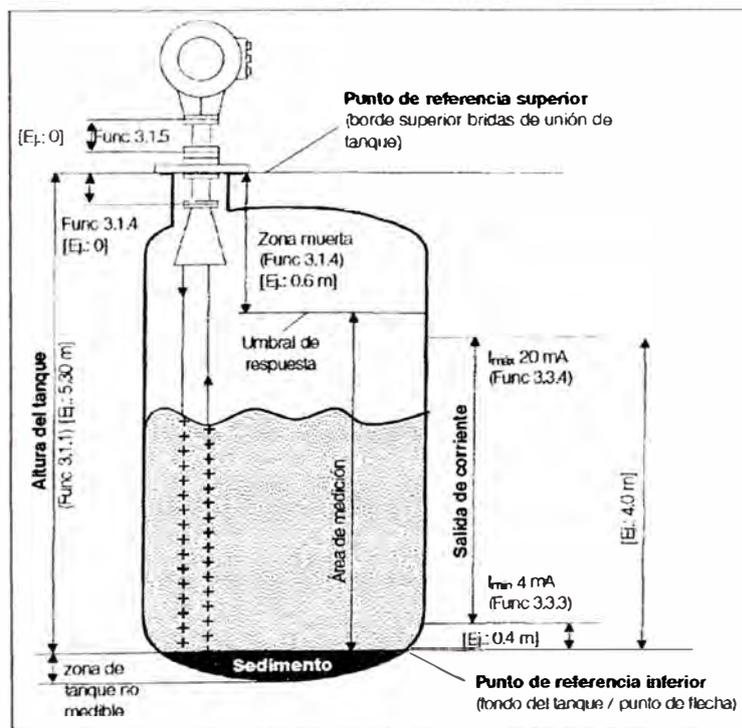
sólo sea ligeramente en la varilla, el interruptor se cierra y actúa como alarma enviando una señal digital al PLC.



**Fig.3.16** Vista Sensor VEGAVIB61

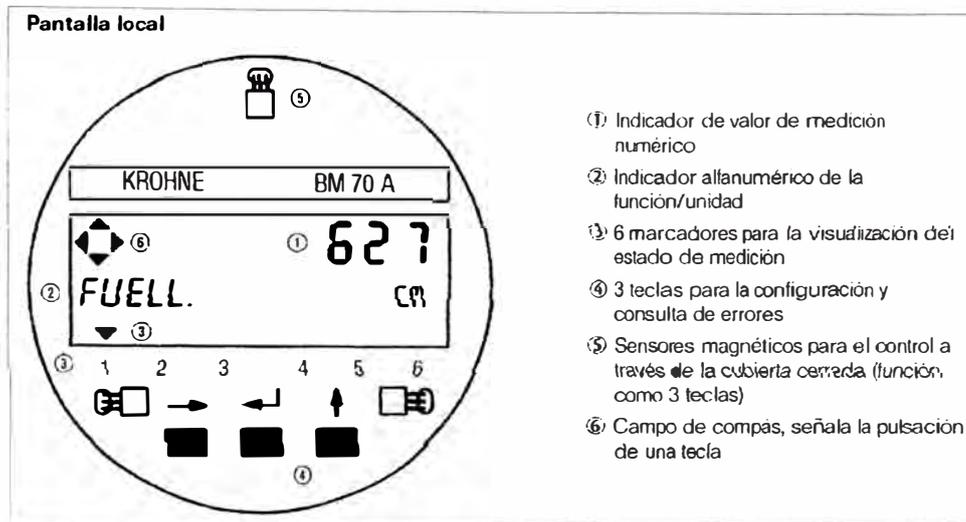
- Medición de nivel de punto continuo

Para la medición de nivel de punto continuo, se utilizó equipos de la marca KROHNE



**Fig.3.17** Diagrama General Sensor de Radar

Para el monitoreo de altura de Clinker en el silo de descarga, se utilizaron los sensores de nivel de radar KROHNE BM 70A. Todos con una conexión de 4 hilos que van directamente a los módulos de periferia distribuida. Envían al PLC de 4-20mA/4W.



**Fig.3.18** Pantalla General Sensor de Radar

### 3.3.3.b Temperatura

Para medir temperaturas en la zona interna de los motores principales de la faja transportadora en este caso por ser temperaturas menores, se utilizaron PT100. Los módulos analógicos escogidos son capaces de medir directamente la señal de un PT100.

- PT100

Los PT100 utilizados fueron comprados con forros de acero inoxidable, bulbos en acero inoxidable que cumple con la norma AISI 316 (*American Iron and Steel Institute*), y con una longitud de 20cm. Todos con una conexión de 3 hilos que van directamente hacia los módulos de periferia distribuida. Envía al PLC de 4 – 20mA/2W.

### 3.3.3.c Corriente

El medir la corriente es importante en algunas máquinas porque nos permite medir que tanta carga llevan, si existe algo que las está frenando, etc. todo esto viendo el comportamiento de las curvas de corriente. Para ver el consumo de corriente de pequeñas máquinas utilizamos transformadores de corriente y un transmisor.

- Transformadores de corriente

Los transformadores de corriente utilizados son de la marca Circutor. Se instalaron transformadores de medida con un secundario a 5A y un transductor de corriente de 5A a 4 – 20mA/4W de medida en valor eficaz con una alimentación de 230VAC.

### 3.3.3.d Detectores de presencia

- Detectores inductivos

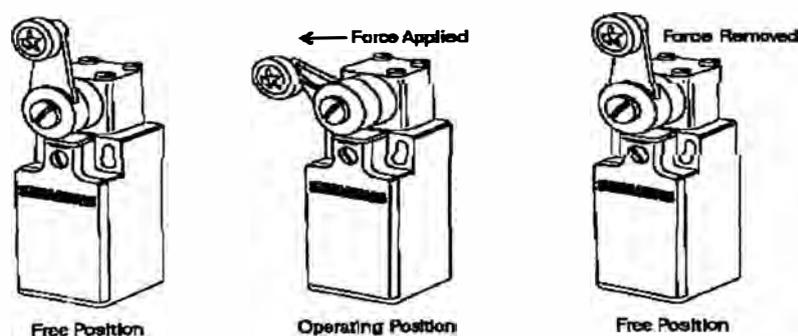
Se han elegido detectores inductivos de la marca Telemecanique código XSI-M30MA250, el cual tiene un alcance máximo de 10mm y trabaja con una conexión a 2 hilos. Se colocaron estos sensores como de uso general para detectar la posición abierto/cerrado de las diversas compuertas que hay en el proceso.

- Detectores de movimiento

Utilizados para controlar el movimiento de un equipo, como un ventilador, una faja, un elevador. Se utiliza detectores de movimiento de la marca Telemecanique código XSA-V11801 los cuáles tienen un alcance máximo de 10mm y detectan pulsos desde 6 – 150pulsos/min con una conexión de 2 hilos.

- Interruptor de posición

Se utiliza interruptores de posición Siemens para la detección de atoro de material en la salida de la faja.



**Fig.3.19** Interruptor De Posición Siemens

### 3.3.4 Automatización con SIMATIC PCS7

SIMATIC PCS 7 se basa en componentes modulares de hardware y software de la gama de sistemas perfectamente coordinados entre sí Totally Integrated Automation.

Es un sistema de control de procesos que se extiende a todos los niveles y comprende los controladores y la periferia del proceso, tanto como las redes de comunicación industriales y los sistemas de operador y de ingeniería. Pero no solamente incluye la arquitectura del sistema y la comunicación, sino también interfaces de programación e intercambio de datos para los programas de usuario y para exportar e importar gráficos, textos y datos. Así, SIMATIC PCS 7 puede combinarse también con componentes de otros fabricantes e integrarse en infraestructuras ya existentes.

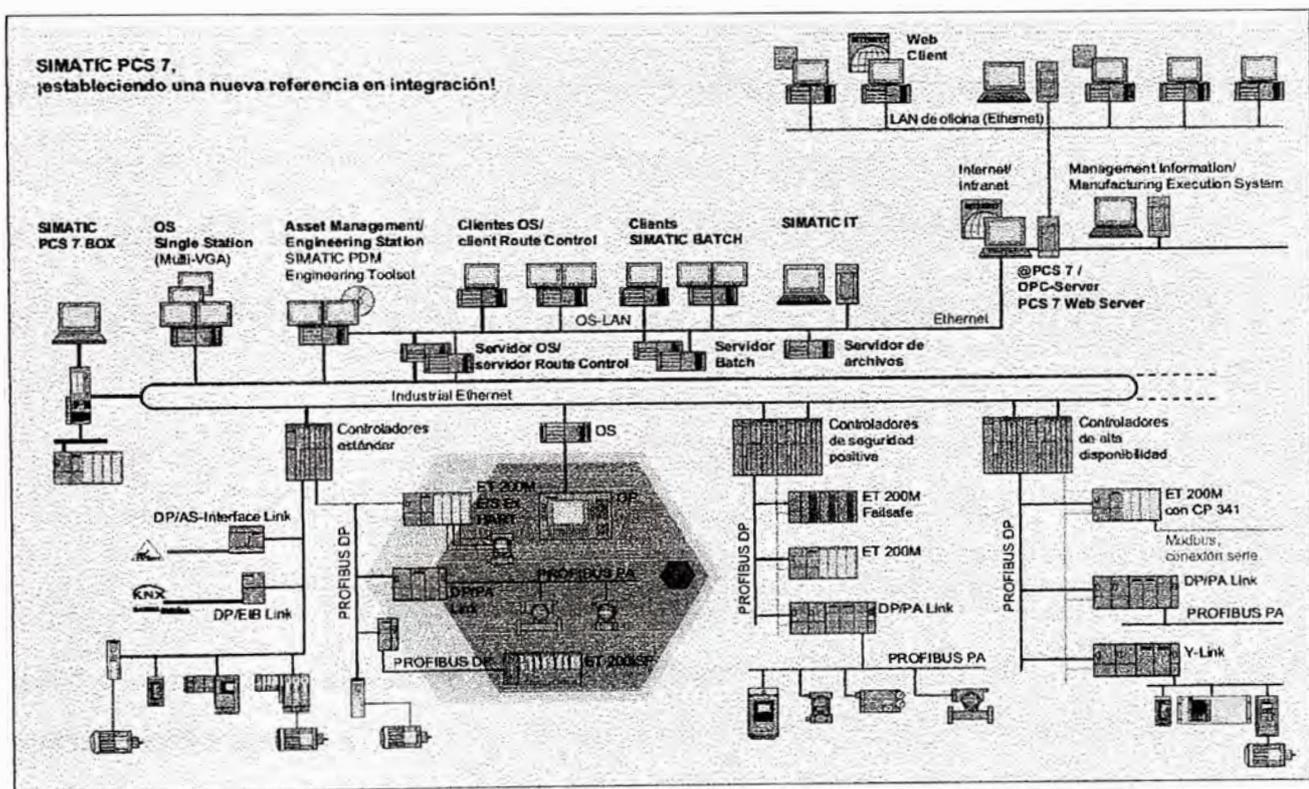


Fig.3.20 Arquitectura con PCS7

#### 3.3.4.a WinCC (SCADA)

Es la herramienta HMI (*Human Machine Interface*) que permite crear las pantallas que visualizan los operadores, está enlazado con las bases de datos donde se almacenan los objetos.

El sistema de supervisión CEMAT trae librerías que se integran al WinCC de donde se pueden escoger los diversos objetos que sirven para el control de las máquinas.

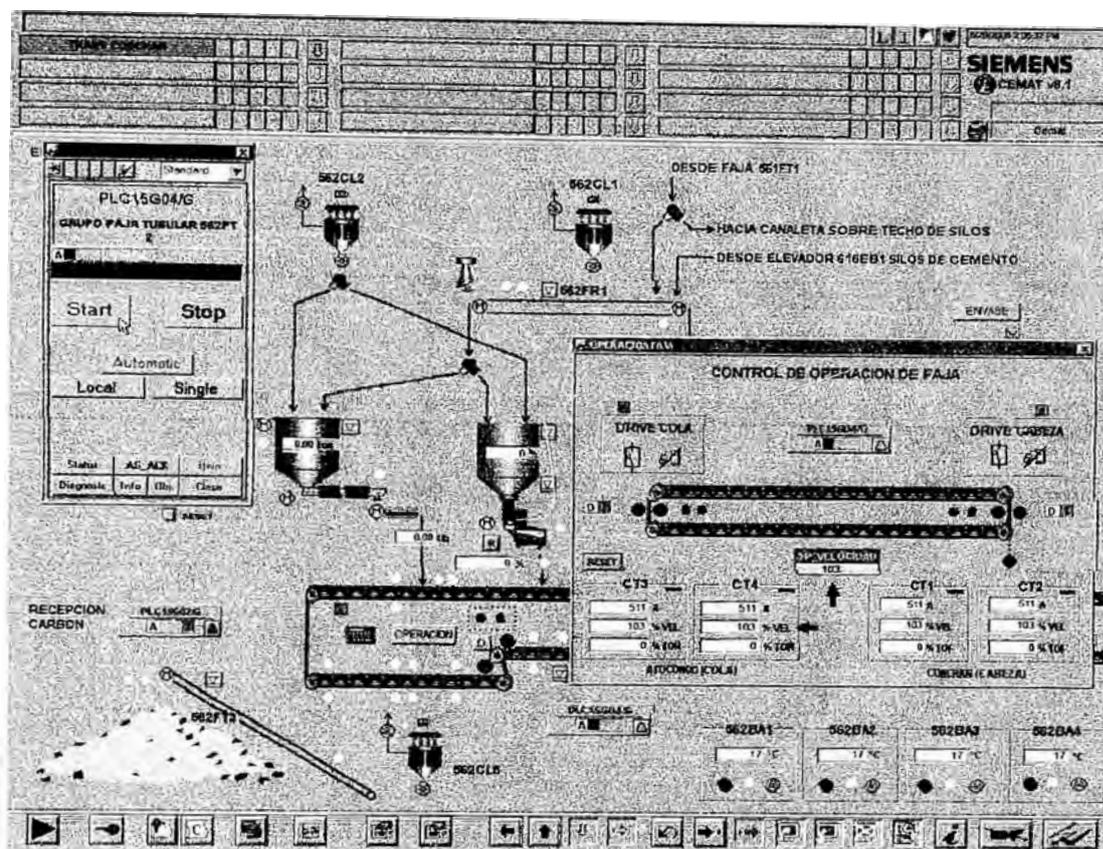


Fig.3.21. WinCC (SCADA)

### 3.3.4.b Programación en Step7

Siemens ofrece el *software* donde se integran todas las herramientas de programación y configuración del PLC llamado SIMATIC Manager que trae un proyecto predefinido con 20 PLCs con una configuración básica de la cual se utilizaron los PLCs 15 y 16 que son los nuevos instalados.

#### ➤ Herramientas

Las herramientas utilizadas del SIMATIC Manager para programar y configurar el PLC son las siguientes:

- Simatic Manager

El SIMATIC Manager es la aplicación básica para programación y configuración. Se pueden ejecutar las siguientes funciones con el SIMATIC Manager:

- a) Crear proyectos.
- b) Configurar y asignar parámetros al *hardware*.
- c) Configurar el *hardware* para redes de comunicación.
- d) Programar bloques.
- e) Compilar y descargar programas.

El SIMATIC Manager permite trabajar de dos maneras, en línea y fuera de línea.

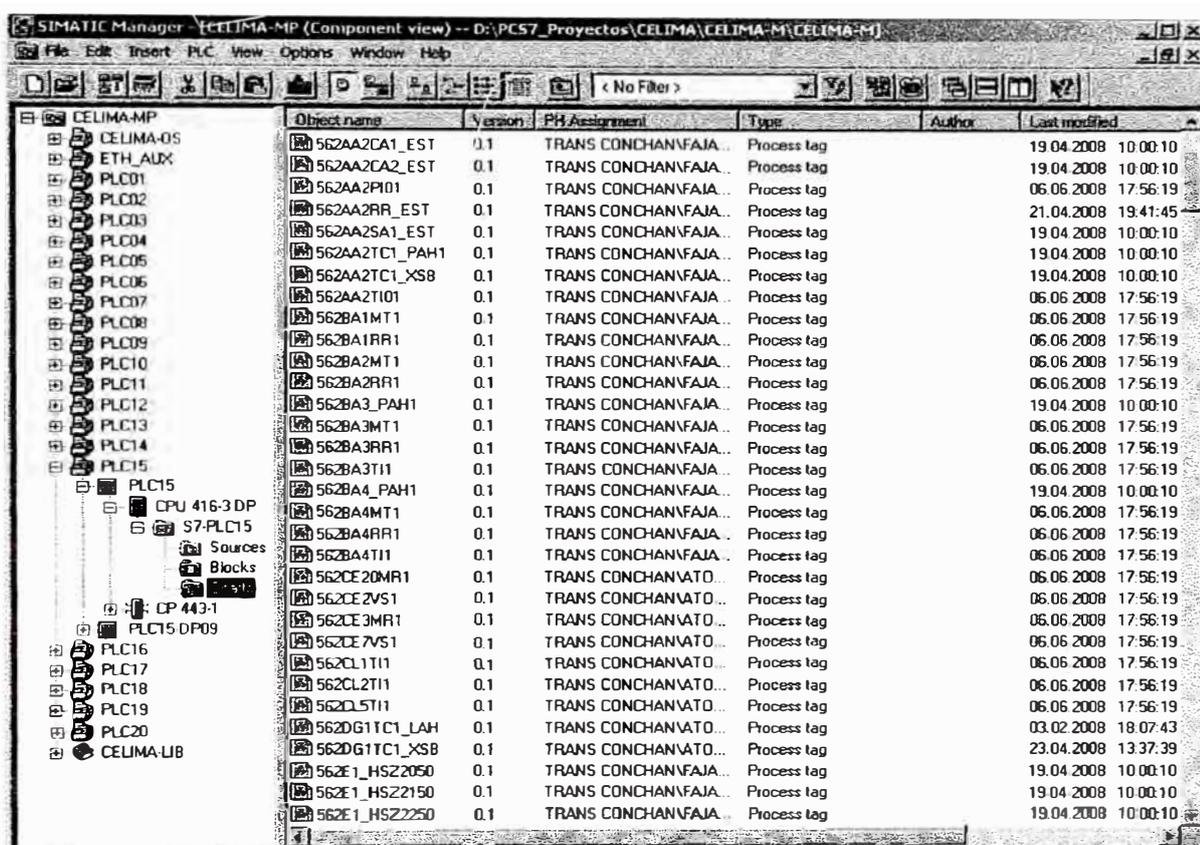


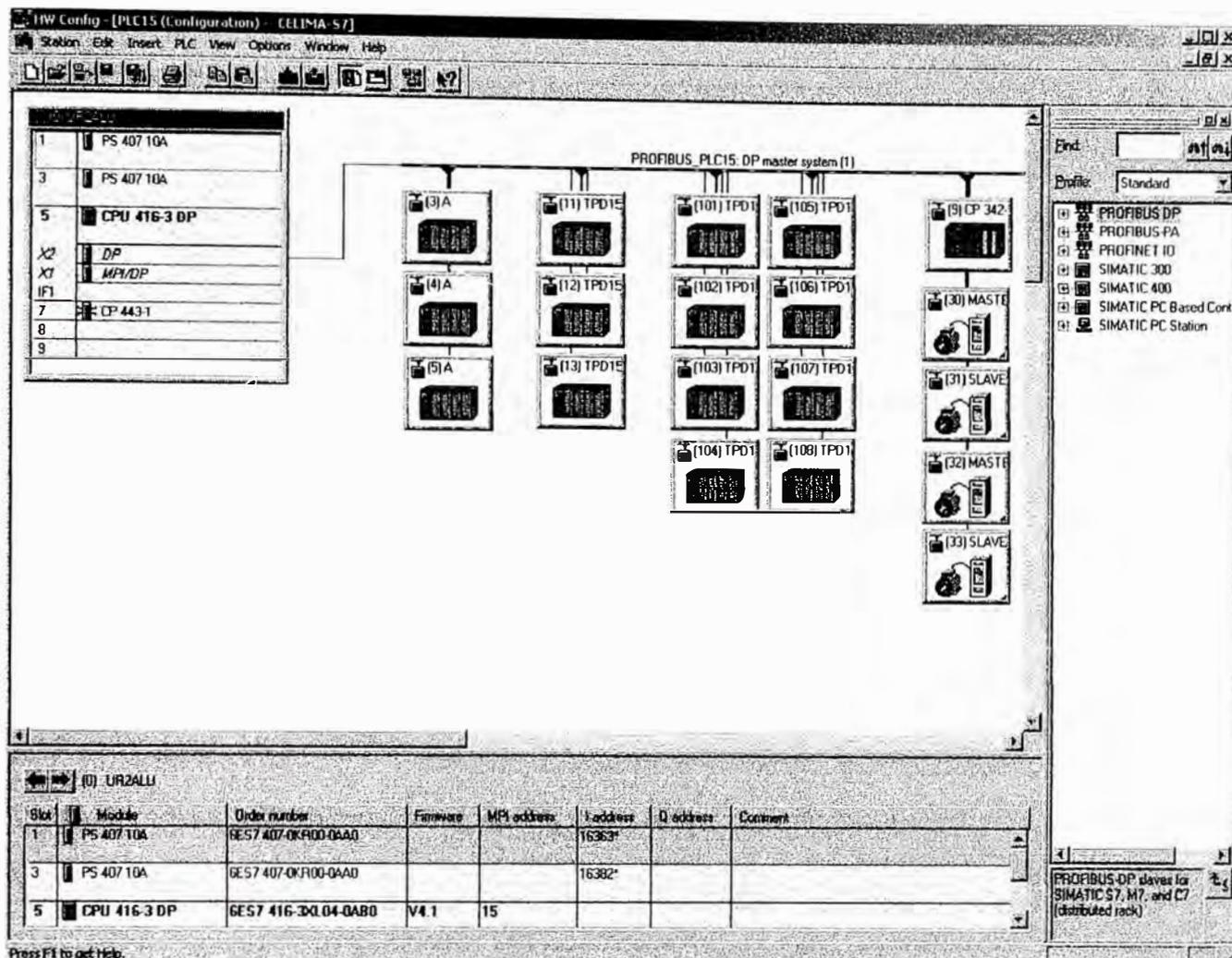
Fig.3.22 SIMATIC Manager

- Configuración de Hardware

Es la herramienta que sirve para configurar los componentes físicos que se van a utilizar en cada PLC, aquí se agregan las estaciones de periferia descentralizada ET-200M, los drives entre otros.

Se escogen también los componentes del PLC que son el *rack*, la fuente, el CPU, la tarjeta CP, los módulos de las estaciones ET-200M, se hace la configuración de los mismos.

Todo esto se hace a través del catálogo de equipos que se encuentra en la parte derecha de la pantalla.



**Fig.3.23 CONFIGURING HARDWARE**

Todos los equipos PROFIBUS DP traen un archivo asociado a este catálogo, el cual es un archivo de extensión \*.GSD, que trae las configuraciones que se pueden hacer al equipo, este archivo es un archivo que puede ser editado en cualquier editor de texto.

- NetPRO

Es la herramienta utilizada para configurar las redes a las que puede conectarse un equipo S7, como redes Ethernet Industrial, PROFIBUS DP, PROFIBUS PA, AS-I, MODBUS, etc.

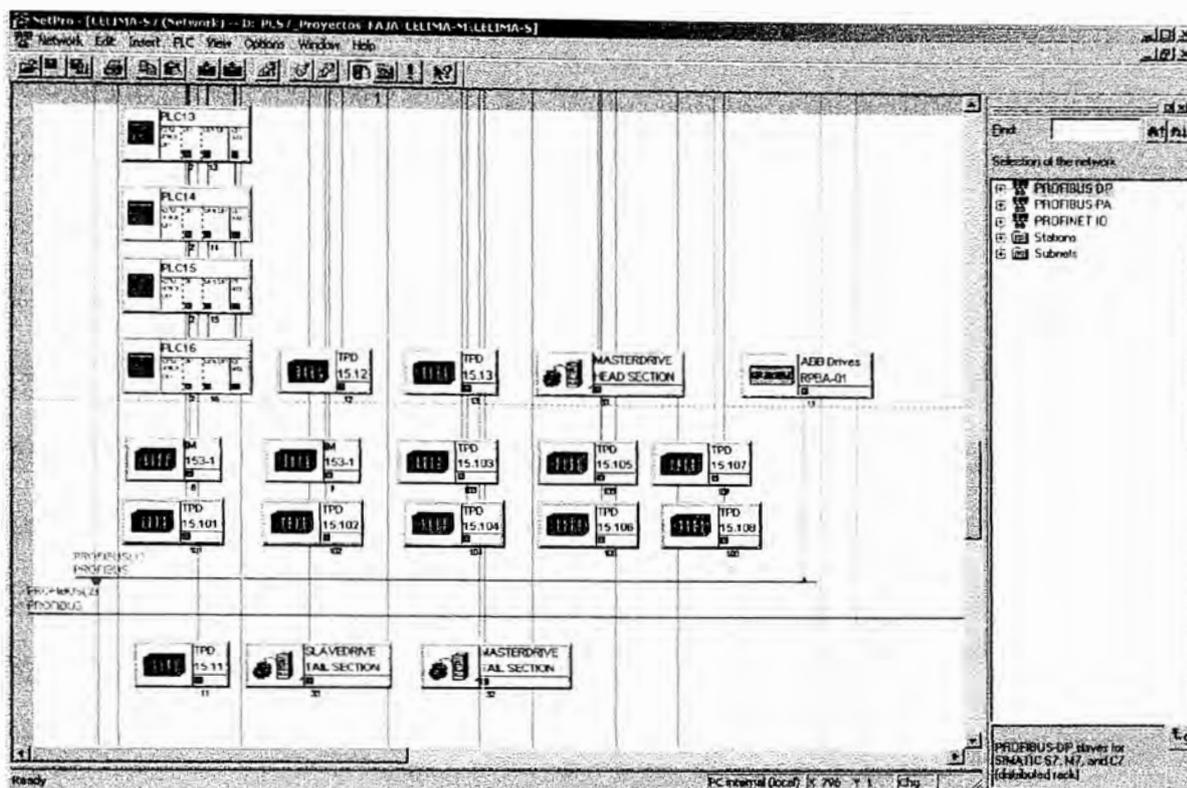


Fig.3.24 NetPRO

- CHARS: PROGRAM BLOCKS

El lenguaje de programación utilizado es el de CFC (*Continuous Function Chart*) este tipo de programación difiere bastante en comparación con el STL (*Statement List Programming Language*).

La programación se lleva a cabo mediante la conexión de diferentes bloques de función obtenidos de la librería maestra. Cada uno de estos bloques realiza una función específica y contienen del lado izquierdo sus entradas y del lado derecho las salidas respectivas.

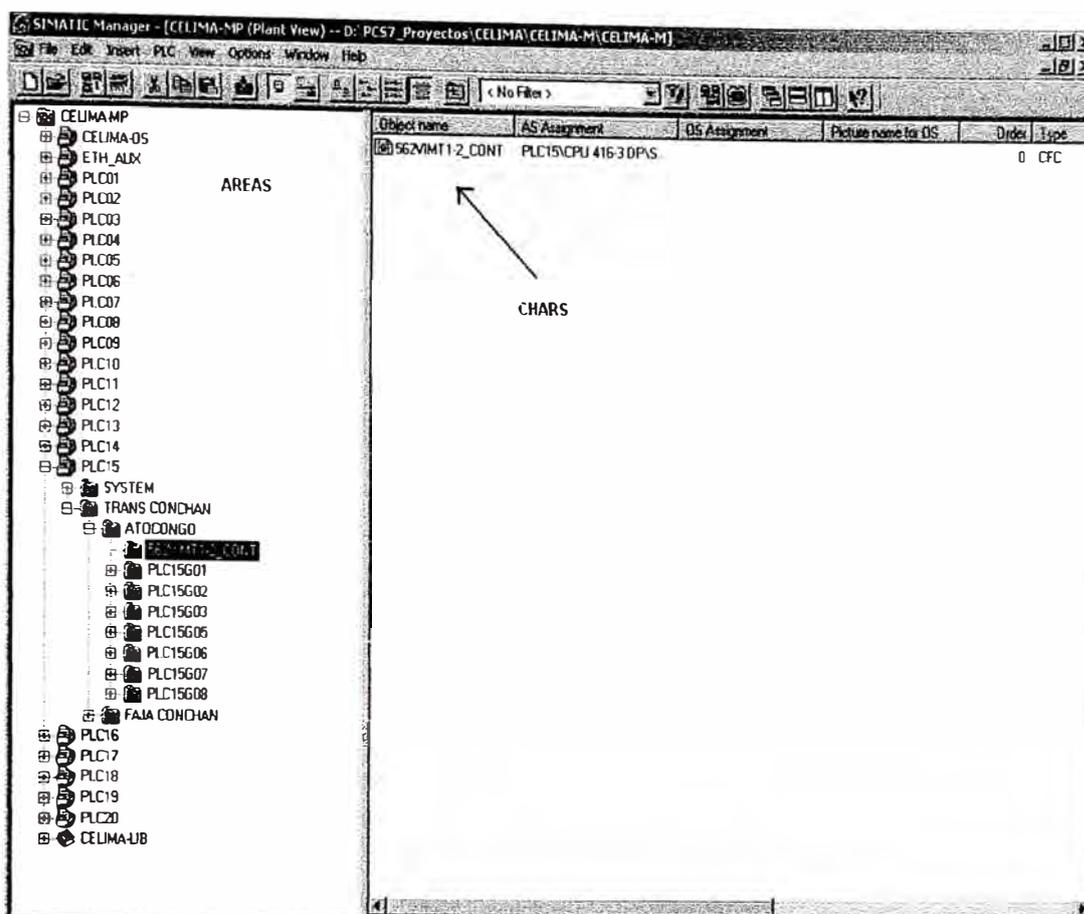


Fig.3.25 CHARS: Program Blocks

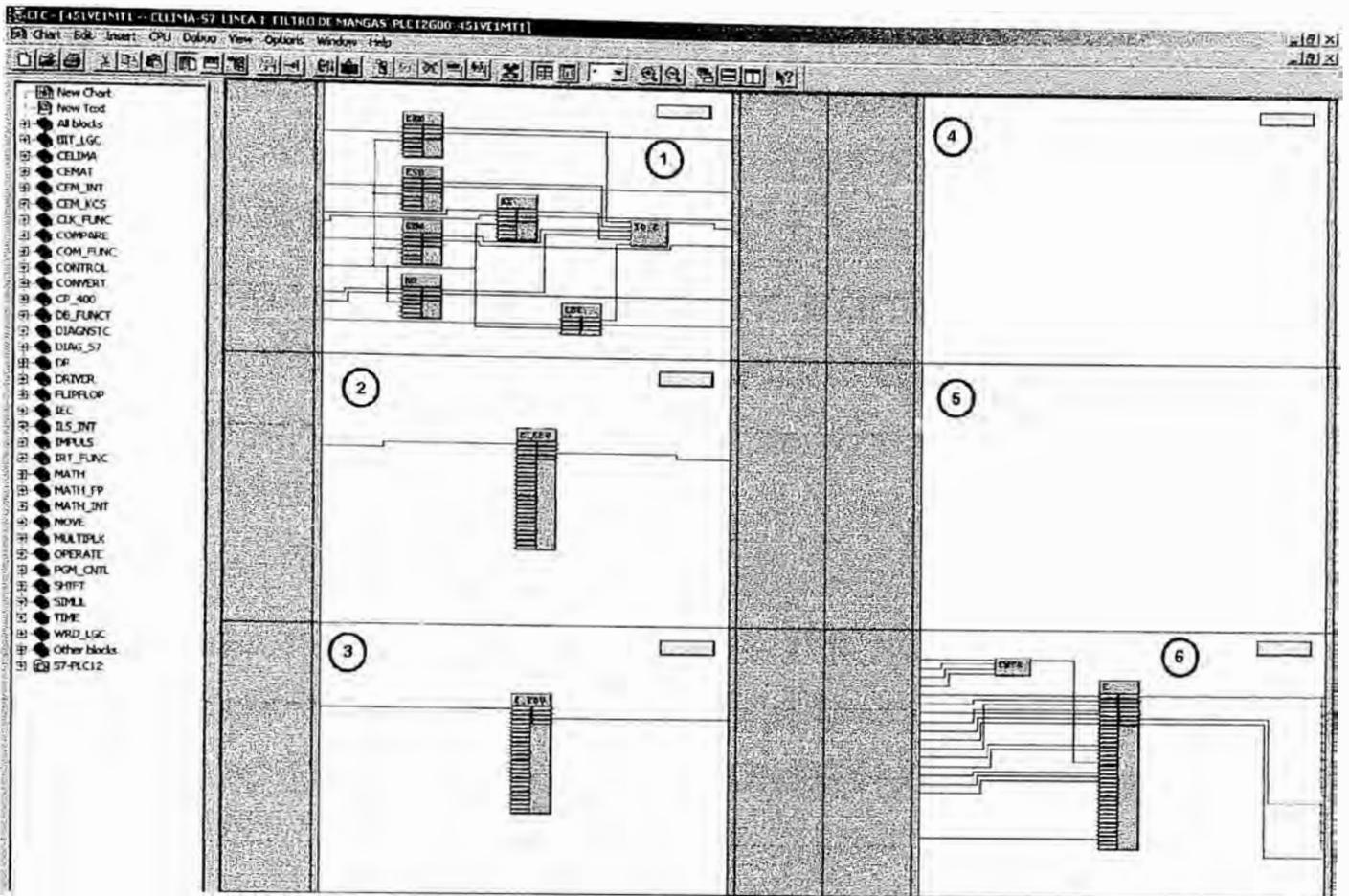
### 3.3.4.c Programación de los PLC

El lenguaje utilizado para programar los dos PLC en los que se separó el proyecto fue el lenguaje CFC y la base de la programación se encuentra definida en los bloques que representan cada uno de los objetos con los que cuenta el Simatic Manager.

El Simatic Manager trae como parte del control las librerías y el modelo de programación a seguir para que pueda haber una comunicación entre todos los componentes del sistema.

Existen diversos tipos de **objetos**, todos representados por una o varias letras, por ejemplo motores o máquinas con giro simple (E), compuertas (K), válvulas (V), grupos (G), selecciones (AW), alarmas (M), entre otros.

Lo importante es conocer el estándar con el que se programan cada uno de estos bloques, y saber que cada bloque tiene partes bien definidas.



**Fig.3.26** Partes De Un Bloque CFC De Un Objeto

Estos bloques están distribuidos dentro del CHAR mediante páginas dividida cada una en seis campos:

- El primer campo contiene a los bloques de diagnostico para las entradas y salidas digitales del objeto.
- El segundo campo corresponde al enclavamiento de arranque
- El tercer campo corresponde al enclavamiento de operación
- El cuarto campo corresponde al enclavamiento de protección
- El quinto campo esta reservado para cualquier operación adicional que se requiera
- El sexto y último campo corresponde al bloque del objeto en si con sus respectivas conexiones.

La forma de programar los objetos para el Simatic Manager se basa en enclavamientos de operación que deben habilitar para que la máquina pueda empezar a trabajar, enclavamientos tan simple como que una faja esté trabajando antes de abrir una compuerta

que descargue sobre la misma o complejos como que el realizado por un controlador que no escape de los límites de control para no detener el proceso.

Las máquinas se comunican con el programa a través de lo que conocemos en el estándar como las “interfases”, que no son más que las señales digitales que vienen del CCM o del campo que están relacionadas con la máquina como por ejemplo la disponibilidad eléctrica, que nos indica que el equipo está listo para arrancar, la señal del relé térmico, los interruptores de posición de una compuerta, la salida digital que energiza la bobina de un contactor, entre otros.

Las máquinas se programan en **grupos de arranque**, con lo cual una cantidad de ellas arrancan en secuencia respetando los enclavamientos que tengan unas con otras.

Las máquinas para trabajar de tres diferentes maneras: en **local**, donde la máquina puede ser movida desde la zona donde se ubica a través de un selector que le da un pulso de arranque (pero a través del programa, no es un enclavamiento eléctrico), en **automático**, donde las máquinas funcionan todas a partir de la secuencia de arranque programada en el PLC, y en **single** donde las máquinas arrancan respetando los enclavamientos del modo **automático** pero pueden ser detenidas y arrancadas independientemente del **grupo de arranque**.

**Enclavamientos** se tienen de diferente grado de protección, como enclavamientos de arranque, que no permiten arrancar a la máquina hasta que se haya cumplido una secuencia previa de arranque, enclavamientos de operación, que detienen una máquina si se pierde esta señal, en general, cada objeto tiene un tipo determinado de enclavamientos que deben ser programados para una operación de cada objeto.

La programación de los **controladores** es un tema diferente, CEMAT ofrece tres tipos de controladores: PID, controladores de relación (o multiplicadores) y controladores *setpoint setter*, con los que se envía una salida analógica a un equipo que posea su propio controlador que a la vez envía un retroaviso hacia el PLC. En el proyecto se utilizan controladores en cascada, en algunos casos se utilizan los tres tipos de controladores, los cuáles tienen sus propios enclavamientos, pudiendo recibir el *setpoint* desde la interfase HMI o desde un controlador maestro en cascada.

Además del **bloque del programa**, cada objeto posee un **bloque de datos** en el que se procesan las operaciones intermedias, distinto para cada tipo de objeto, el cual se genera luego de configurar el tipo de objeto en la herramienta WinCC.

Para la configuración del *hardware* utilizando la herramienta **Configuring Hardware** se ha tenido que importar los archivos de extensión GSD de los sitios web de los fabricantes, ya que varios equipos han venido sin este archivo. Una vez completa la configuración del *hardware* la configuración de la red utilizando la herramienta **NetPro** queda completa y lo faltante es descargar todas las configuraciones y programas al PLC.

## **CAPÍTULO IV**

### **INTEGRACIÓN Y PRUEBAS**

Los trabajos de integración y pruebas se han hecho en coordinación con el área de Producción de la empresa debido a que se necesitó hacer cortes de tensión en algunos casos y de la red de los PLCs.

#### **4.1 Análisis económico del proyecto**

Para llevar a cabo el montaje electromecánico y obras civiles del proyecto se contrataron varias empresas contratistas bajo el sistema de suma alzada, en la que el postor formula su propuesta por un monto fijo y por un determinado plazo de ejecución, basado en el detalle de la ingeniería ejecutada previa al montaje.

En la parte de la automatización, el contratista ganador del concurso se hacía responsable del montaje eléctrico, fabricación de tablero y compra de los componentes eléctricos tanto cables de fuerza, arranques eléctricos, tendido de bandejas y tuberías y conexionado de motores e instrumentos, mientras que la empresa eléctrica (ByB Tecnología Industrial S.A.C) correría con la adquisición de la instrumentación y sistema de control.

##### **4.1.1 Costo del proyecto**

El costo total del proyecto se desglosa de la siguiente manera:

###### **4.1.1.a Túnel Subterráneo que incluye cinco accesos de mantenimiento**

Incluye: Ingeniería de Estudios de suelos, excavaciones, obras civiles completas y supervisión.

Longitud =aprox. 6600 m.

Precio Unitario completo =US\$ 1,500 / m.

Total =US\$ 9.9 millones



la inversión total de US\$ 24 millones, la tasa interna de retorno en un plazo de 20 años es menos de 6%, que resulta bastante bajo para un proyecto de esta magnitud.

A pesar de esto, Cementos Lima estaría dispuesta en seguir adelante con el Proyecto por las siguientes razones adicionales de carácter estratégico de largo plazo:

a. El actual momento coyuntural del país en donde la construcción se encuentra en recesión el consumo de cemento está bastante reducido. Estando a la espera de que se revierta esta situación en un período de 2 años, es de suponer que para ese entonces la demanda de cemento en la ciudad de Lima y Centro del país va a aumentar el despacho de la Fábrica de Atocongo con el consiguiente mayor número de camiones y congestión en las vías de acceso a la Fábrica. Es por lo tanto importante tener concluido este proyecto para ese momento.

b. El deterioro actual de las pistas de acceso a la Fábrica a través de José Gálvez (en especial las Avenidas Lima y el Parque), ha motivado a la empresa a ver la forma de poder contribuir con la urgente reparación de estas Avenidas, aprovechando asimismo su ampliación a dos carriles de doble sentido que permita el mayor flujo de vehículos en el futuro. Esta medida es importante hacerla antes de que el desordenado crecimiento de la población y del Distrito impida la ampliación de las pistas, tal como ha ocurrido ya en varios otros Distritos del Cono Norte y Sur de la ciudad de Lima en donde las invasiones a la propiedad siguen ocurriendo continuamente.

c. La Faja Transportadora permitirá despachar de manera más eficaz y con menos mermas el cemento y clinker al muelle de Conchan con acceso a transporte marítimo para la exportación o para la distribución local a través de la Carretera Panamericana Sur.

## **4.2 Cronograma de actividades**

El proyecto de automatización de la faja tubular se inició en Junio del 2007 y estaba proyectado culminarse en el mes de Agosto del mismo año. La parte más amplia del proyecto fue tomada por la ingeniería del mismo, teniendo que recabar los datos de todas las máquinas y señales que debían ser programadas en el sistema de control.

### **Cronograma de Entrega**

Fecha de entrega primera etapa: 20 de junio del 2007.

Periodo de pruebas primera etapa: 15 días.

Fecha de entrega segunda etapa: 02 de agosto del 2007.

Periodo de prueba segunda etapa: 30 días.

### 4.3 Integración del nuevo sistema

Al ser la red de PLCs una red de topología bus, se tuvo que abrir uno de los segmentos de la red para integrar los nuevos PLCs, lo que produjo la pérdida de comunicación de algunos de los PLCs con el Cuarto de Control. La ventaja que se logró luego de integrar los PLCs fue que se cambió la topología bus a una tipo árbol, teniendo la red tipo bus antigua y al momento de insertar el nuevo repetidor SINEC H1 se abrió un segmento creando una red estrella, ello permitió que durante las pruebas realizadas no se vuelva a perder la comunicación del resto de PLCs con el Cuarto de Control, sino sólo se interrumpía la comunicación de los nuevos PLCs.

### 4.4 Pruebas del nuevo sistema

Las primeras pruebas del proyecto consistieron en probar la correcta integración de los nuevos PLCs a la red, en la cual, una vez instalada la configuración correspondiente en cada CPU se procedió a monitorear desde la Estación de Ingeniería el estado del CPU mediante el SIMATIC Manager, con el cual se probó el modo de operación y la información proporcionada del estado del CPU.

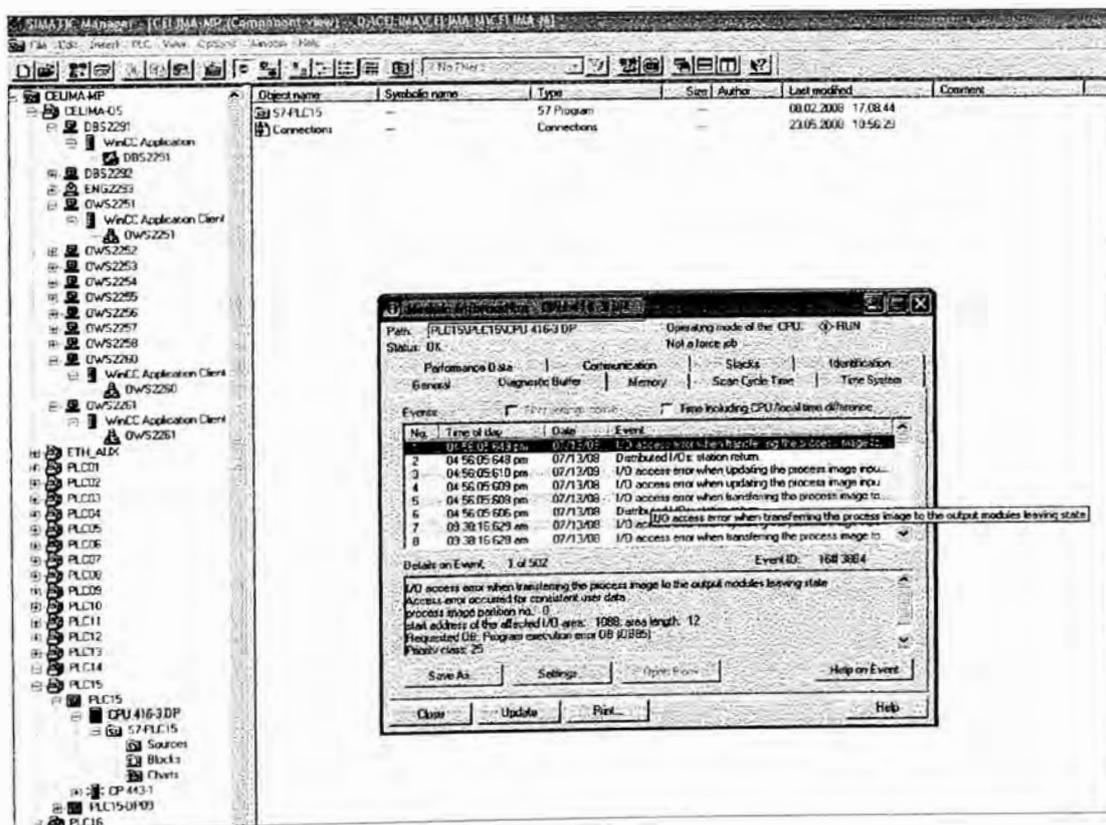
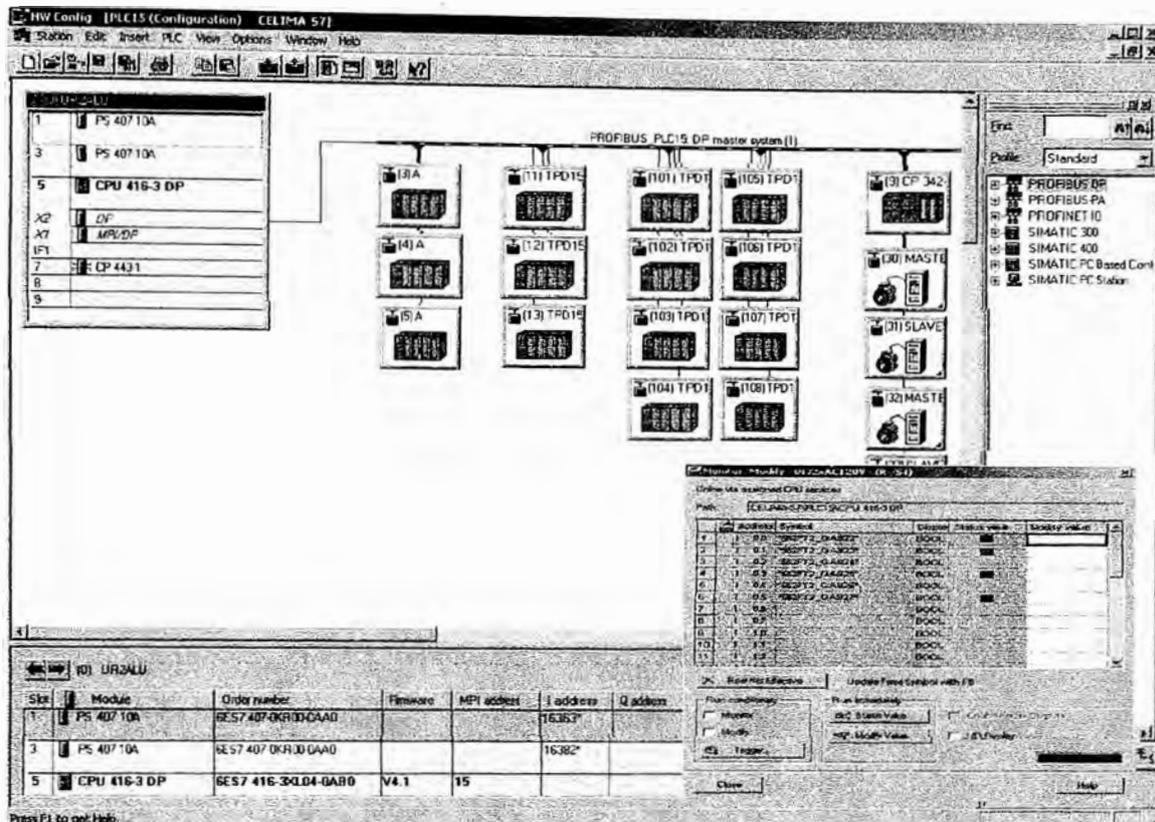


Fig.4.1 Prueba De Comunicación Con CPU 416-3 DP

De la misma manera, se probó la comunicación correcta entre los esclavos PROFIBUS-DP y el PLC, monitoreando las señales digitales y analógicas utilizando la herramienta Configuring Hardware.



**Fig.4.2** Monitoreo De Señales De Esclavos PROFIBUS-DP

De este modo se han probado las señales de CCM y de campo. A continuación se probaron cada uno de los arranques para obtener el sentido de giro correcto de los motores y accionamiento del resto de equipos.

La puesta en marcha se llevó a cabo en turnos de 24 horas en las cuáles se configuró el funcionamiento del sistema a pedido de los operadores de planta, además de mantenimiento correctivo a algunos equipos que podían fallar en el mismo momento de operación.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

La automatización de la faja transportadora, deja las siguientes conclusiones después de finalizado el proyecto.

- Los PLCs SIMATIC S7-400 ofrecen una ventaja no sólo en velocidad de procesamiento de datos, sino en el entorno de programación STEP 7,
- La flexibilidad para realizar cambios se incrementó, no sólo debido a los PLCs de nueva generación utilizados, sino al empleo del HMI del SCADA, que permite crear interfases entre el operador y el proceso.
- La instrumentación utilizada cuenta con transmisores de señal más compactos y que se pueden integrar al sistema de control.

### RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar el siguiente ítem para una mejor operación y monitoreo del proceso.

- Realizar documentos con procedimientos en caso de fallas y almacenar el proyecto del PLC periódicamente a manera de *back up*. Además contar con un PLC adicional como repuesto.

**ANEXO A**  
**GLOSARIO**

**ASTM.** American Society for Testing and Materials.

**CCM.** Cuarto de Control de Motores

**CENELEC.** Comité Electrotécnico de Estandarización Europea.

**CSA.** Canadian Standards Association.

**Determinístico.** Referido no a cuán rápida debe ser una operación sino a que la operación debe ser realizada en un tiempo conocido.

**IEC.** Internacional Electrotechnical Commission.

**ISO.** International Organization for Standardization.

**JIS.** Japanese Industrial Standard.

**NEMA.** National Electrical Manufacturers Association

**OSI.** Open Systems Interconnection

**Paramagnético.** Dícese de las sustancias que, sin ser ferromagnéticas, son atraídas por los imanes.

**Piezoeléctrico.** Perteneciente a ciertos cristales que generan una corriente eléctrica cuando se les aplica una presión.

**SAMA.** Scientific Apparatus Makers Association.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1. Analog Services**  
[http://www.analogservices.com/about\\_part0.htm](http://www.analogservices.com/about_part0.htm)
- 2. Bernard Actuators**  
<http://www.bernard-actuators.com/frame1gb.htm>
- 3. Bernard Controls Inc.**  
<http://www.bernardcontrols.com>
- 4. Catálogo de Productos Siemens On-Line**  
<https://mall.ad.siemens.com/WW/guest/index.asp?aktPrim=0&lang=en>
- 5. Cole-Parmer Instrument Company**  
<http://www.coleparmer.com/techinfo/techinfo.asp?openlist=D,E,C,A&htmlfile=Wilcoxon-sensor.htm&Title=Vibration+Sensor+Selection+Guide>
- 6. El bus CAN : Descripción y Funcionamiento**  
Herrero, V.  
Mundo Electrónico – Marzo 2001
- 7. Endress & Hauser**  
<http://www.endress.com>
- 8. Enginering Toolbox**  
[http://www.engineeringtoolbox.com/50\\_556qframed.html](http://www.engineeringtoolbox.com/50_556qframed.html)
- 9. Fieldbus Foundation**  
<http://www.fieldbus.org/>
- 10. GMC Instruments Group**  
<http://www.gmc-instruments.com/default.htm>
- 11. Interbus Club**  
<http://www.interbusclub.com/>
- 12. Introduction to Distributed Control**  
Instrument Society of America – 1993
- 13. Krohne**  
<http://www.kanex-krohne.com>

- 14. Manual y Catálogo del Electricista 2003**  
Schneider Electric Perú
- 15. Metrix Instrument Co.**  
<http://www.metrixl.com>
- 16. Modern HMI/SCADA Systems**  
Rusan, Radu & Vanclieaf, Dale  
National Instruments
- 17. Monitor Technologies LLC**  
<http://www.monitortech.com>
- 18. National Instruments**  
<http://www.ni.com>
- 19. ODVA EtherNet/IP**  
<http://www.ethernet-ip.org/>
- 20. Omega Engineering Technical Reference**  
<http://www.omega.com/prodinfo/thermocouple.html>
- 21. PROFIBUS International**  
<http://www.profibus.com>
- 22. PROFIBUS Technology and Application – System Description**  
Profibus International
- 23. Programmable Logic Controllers, Principles and Applications**  
Webb, John & Reis, Ronald  
Prentice Hall – 1995
- 24. SCADA Supervisory Control And Data Acquisition**  
Boyer, Stuart A.  
Instrument Society of America – 1993
- 25. Siemens Process Instrumentation**  
<https://pcs.khe.siemens.com/index.asp?Nr=2122#>
- 26. SIMATIC distributed I/O**  
[http://www.ad.siemens.com/simatic/dp/html\\_76/produkte/produkte.htm](http://www.ad.siemens.com/simatic/dp/html_76/produkte/produkte.htm)
- 27. SIMATIC Manager Help**  
Siemens AG
- 28. Vega**  
[http://www.vega.com/frame\\_e.htm](http://www.vega.com/frame_e.htm)