

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA RED MODBUS  
INDUSTRIAL EN SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A.**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO ELECTRONICO**

**PRESENTADO POR:**

**SAUL MAXIMO HERNANDEZ CARDOSA**

**PROMOCION**

**1999 – II**

**LIMA – PERÚ**

**2006**

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA RED MODBUS INDUSTRIAL EN  
SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A.**

*Dedico este trabajo a:*  
*Mi madre, inspiración plena de lucha y sacrificio,*  
*A mi esposa, por el apoyo incondicional en mi carrera,*  
*Y mis sobrinos esperanza de superación.*

## **SUMARIO**

El presente trabajo pretende detallar el proceso de automatización de la Planta Magnética de Shougang Hierro Peru S.A.A., empleando para ello el protocolo serial Modbus RTU, el cual es un protocolo de comunicación muy difundido y adecuado para este fin.

En el capítulo I se da una visión general del proyecto a implementarse, es decir, se hace una breve descripción del sistema actual, las alternativas de solución y de la ingeniería de detalle del mismo. Adicionalmente se da la justificación técnica y económica para llevar a cabo su implementación.

En el capítulo II se detalla el sistema productivo de la empresa, es decir, se hace una breve descripción de las diferentes etapas o procesos que la conforman, dando mayor énfasis a la Planta Concentradora o Magnética donde se llevara a cabo este proyecto.

En el capítulo III se describen los conceptos básicos de las Redes Industriales, sus topologías, modos de comunicación, formas de transmisión y de las interfaces que emplean.

En el capítulo IV se describe el Protocolo Modbus RTU. Se desarrollan sus códigos de funciones y sus características principales.

En el capítulo V se detalla la secuencia de implementación del proyecto en si, vale decir, se describe todo el desarrollo de las diferentes etapas de que consta el proyecto y de las consideraciones que se debe tener para la misma.

## INDICE

Prologo

### **CAPITULO I**

<b>PROYECTO DE RED MODBUS EN PLANTA MAGNÉTICA.</b>	2
1.1 Resumen del Proyecto.	2
1.1.1 Antecedentes y problemática.	2
1.1.2 Objetivos.	3
1.2 Justificación técnica.	3
1.2.1 Análisis de sistema actual.	3
1.2.2 Equipos Actuales instalados.	4
1.3 Alternativa de solución.	5
1.4 Tecnología seleccionada.	5
1.4.1 Selección del elemento de protección y medición.	6
1.4.2 Selección del protocolo de comunicación.	6
1.4.3 Selección del tipo de PLC.	6
1.5 Justificación Económica.	7
1.6 Ingeniería de detalle.	7
1.6.1 control de faja de alimentación.	7
1.6.2 control de molino de barras.	8
1.6.3 control de molino de bolas.	10
1.6.4 monitoreo completo de una línea.	11
1.7 Equipos y Cableado requerido.	12

### **CAPITULO II**

<b>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.</b>	14
2.1 Introducción.	14
2.1 Area Mina.	14

2.2.1 Etapa de perforación.	14
2.2.2 Etapa de disparo.	15
2.2.3 Etapa de carguío.	15
2.2.4 Etapa de acarreo.	15
2.2.5 Planta de Chancado Primario.	15
2.3 Area de beneficio San Nicolás.	16
2.4 Stock de crudos.	16
2.5 Planta de Chancado Secundario.	16
2.6 Planta Magnética o Concentración.	17
2.6.1 Generalidades.	17
2.6.2 Condiciones de molienda.	17
2.6.3 Separadores magnéticos.	17
2.6.4 Circuito de molienda gruesa.	18
2.6.5 Circuito de molienda fina.	18
2.6.6 Molino de barras.	19
2.6.7 Molino de bolas.	21
2.6.8 Faja Alimentadora.	23
2.7 Planta Filtros.	24
2.8 Planta Pelets.	24
<b>CAPITULO III</b>	
<b>REDES INDUSTRIALES.</b>	26
3.1 Concepto de red.	26
3.2 Topología de redes.	26
3.2.1 Topología tipo anillo.	26
3.2.2 Topología tipo estrella.	26
3.2.3 Topología tipo bus.	27
3.3 Medio de Transmisión.	27
3.3.1 Cable de par trenzado.	27
3.3.2 Cable coaxial.	27
3.3.3 Cable de Fibra óptica.	28
3.4 Modo de Comunicación.	28
3.4.1 Comunicación simplex.	28

3.4.2 Comunicación Hala Duplex.	28
3.4.3 Comunicación Dúplex.	28
3.5 Velocidad de Transmisión.	29
3.6 Interfaz física.	29
3.6.1 Interfase RS 232-C	29
3.6.2 Interfase RS 422	30
3.6.3 Interfase RS 485	30

## **CAPITULO IV**

<b>PROTOCOLO MODBUS RTU</b>	32
4.1 Introducción.	32
4.2 Contexto de aplicacion.	33
4.3 Descripción General.	34
4.3.1 Descripción de protocolo.	34
4.3.2 Codificación de los datos.	35
4.3.3 Modelo de datos Modbus.	35
4.4 Categorías de códigos de función.	36
4.4.1 Códigos de función publica.	36
4.4.2 Códigos de función definida por el usuario.	36
4.4.3 Códigos de función reservada.	36
4.5 Descripción de los códigos de función.	37
4.5.1 Lectura de bobinas 01 (0x01).}	37
4.5.2 Lectura de entradas discretas 02 (0x02).	37
4.5.3 Lectura de Registros de retención 03 (0x03).	38
4.5.4 Lectura de Registros de entradas 04 (0x04).	39
4.5.5 Escritura de Bobinas simples 05 (0x05).	40
4.5.6 Escritura de un Registro 06 (0x06).	40
4.5.7 Escritura de múltiples bobinas 15 (0x0F).	41
4.5.8 Escritura de múltiples registros 16 (0x10).	42
4.5.9 Lectura de archivos Record 20 (0x14).	43
4.5.10 Escritura de archivos record 21 (0x15)	43
4.6 Características del Protocolo Modbus RTU.	45
4.6.1 Formato o Brame de los mensajes.	45

4.6.2 Dirección.	45
4.6.3 Estación Maestra.	46
4.6.4 Estación Esclava.	46
4.6.5 tiempo muerto.	46
4.6.6 velocidad de comunicación.	46
4.6.7 Algoritmo CRC – 16.	47
4.7 Equipos que incorporan este protocolo.	47
4.7.1 Relays Multilin de General Electric.	47
4.7.2 Balanzas Ramsey.	47
4.7.3 Plc DD32LT de Cutler Hammer.	48
4.7.4 Convertidor Modbus / Ethernet.	48
4.7.5 Plc Modicon Tsx Compac.	49
4.8 Comunicaciones multidrop en redes industriales Modbus RTU.	49
4.8.1 Conexión de 4 hilos (4 - wires).	49
4.8.2 Conexión de 2 hilos (2 – wires).	50
4.8.3 Conexión punto a punto.	51

## **CAPITULO V**

<b>SECUENCIA DE IMPLEMENTACION</b>	<b>52</b>
5.1 Introducción.	52
5.2 Parámetros de Control y Monitoreo.	52
5.3 Numero de Elementos de la Red.	53
5.4 Instalación de la etapa de fuerza.	53
5.5 Montaje y configuración del sistema de protección.	54
5.6 Instalación de la etapa de control.	55
5.6.1 Montaje del plc.	55
5.6.2 Montaje de sensores y transmisores.	56
5.6.3 Montaje de indicadores digitales.	56
5.7 Instalación del variador de velocidad ac.	57
5.8 Desarrollo del sistema scada.	58
5.8.1 Elección del tipo de control a realizar.	58
5.8.2 Elección del modo de presentación y visualización.	58
5.8.3 Configuración del protocolo de comunicación.	59



	X
5.8.4 Configuración del puerto de comunicación serial.	59
5.8.5 Pruebas de enlace con el plc.	59
5.9 Software empleado en el Desarrollo.	60
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	61
<b>BIBLIOGRAFIA.</b>	62

## PROLOGO

En los últimos años, las aplicaciones industriales basadas en comunicación digital se han incrementado haciendo posible la conexión de sensores, actuadores y equipos de control en una planta de procesamiento. De esta manera, la comunicación bi-direccional entre la sala de control y los instrumentos de campo se han convertido en realidad. La comunicación digital debe integrar la información provista por los elementos de campo en el sistema de control de procesos.

Esta integración de equipos en una planta se realiza generalmente mediante un “bus de campo” o red industrial. En la actualidad, las redes industriales son instaladas en grandes plantas químicas, refinerías, generación de energía, minería, etc. Debido a la disminución de costos de estas nuevas tecnologías, las plantas mas pequeñas también se están viendo beneficiadas con el potencial que ofrecen las redes industriales.

El empleo de una red industrial Modbus como base para un proceso de automatización, si bien es cierto es una red lenta comparándola con redes industriales mas modernas, te permite una fácil comunicación entre la sala de control y los instrumentos de campo. Además, Modbus RTU es un protocolo estándar en la mayoría de los instrumentos de campo y de medición de energía, por lo cual su costo es reducido.

Con el empleo de redes industriales basadas en ethernet, se ha logrado aumentar las prestaciones tales como: velocidad, potencia, costos, mayor número de integración de instrumentos de campo, etc. En esta implementación se hace uso de esta tecnología para así incrementar las bondades de esta red Modbus industrial.

## CAPITULO I

### PROYECTO DE RED MODBUS EN PLANTA MAGNETICA

#### 1.1 RESUMEN DEL PROYECTO

##### 1.1.1 ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA

Actualmente se pierde mucho tiempo en la solución de las fallas que ocasionan paradas de los molinos de esta planta. También los elementos de protección y medición de los mismos no garantizan un correcto funcionamiento ya sea por el tiempo de uso o por la complejidad de los mismos, lo cual se agudiza con la no existencia de repuestos que son exclusivos por ser estos de tecnología antigua.

A ello se debe sumar el cableado existente, los taleros de control y visualización, que por su antigüedad, ya no presta seguridad; tal y como se aprecia en la figura 1.1.

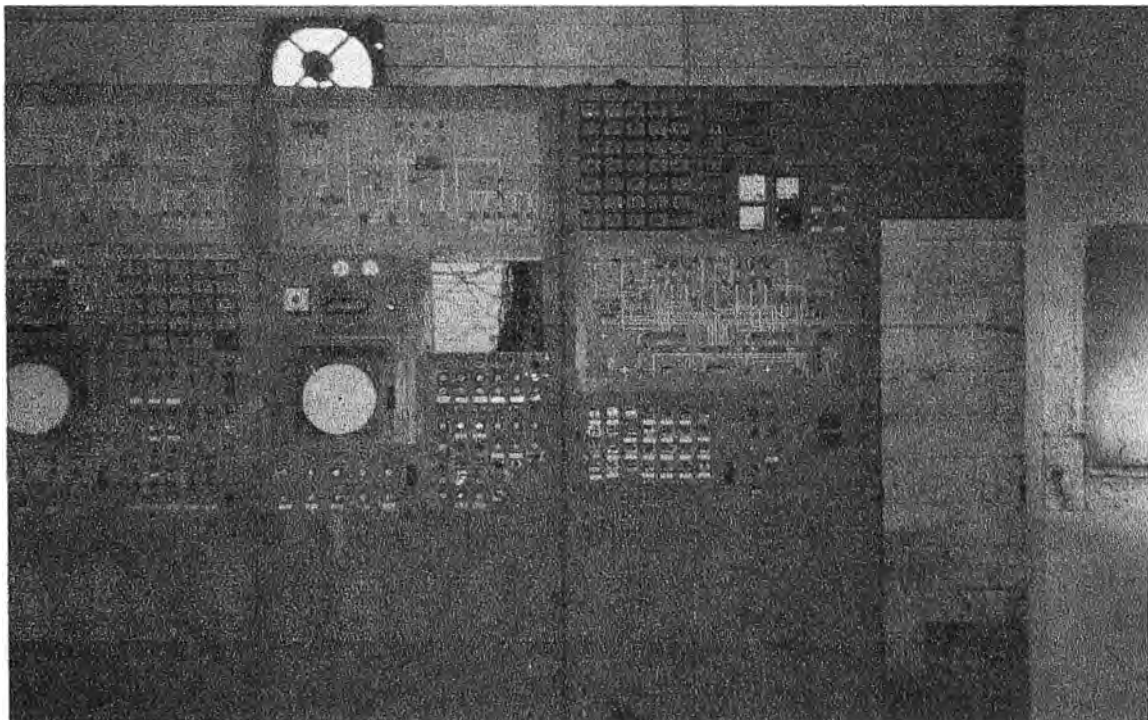


Figura 1.1: Sistema actual de los tableros de control.

En un principio se automatizó parcialmente algunos molinos de bolas, empleando para ello PLCs D50 discretos y paneles de visualización monocromáticos (Cutler – Hammer). En estos nuevos sistemas se demostró que teniendo un correcto monitoreo de los mismos, el número de paradas y el tiempo de reparación disminuían considerablemente, lo cual creó conciencia de automatizarlos completamente.

### **1.1.2 OBJETIVOS**

Tener control y monitorear completamente los elementos más importantes de esta planta, para así minimizar tanto el número de paradas de los molinos como el tiempo de restablecimiento en operación de los mismos; y así cumplir con el rate anual de producción proyectado.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA**

### **1.2.1 ANÁLISIS DE SISTEMA ACTUAL**

Como se mencionó anteriormente, se ha automatizado parcialmente algunos molinos de bolas tanto en la parte de control como en la parte de fuerza y protección, de la siguiente manera:

- Lado control: Plc con entradas / salidas discretas D50, Panel Mate series 1000 y variadores de velocidad AC para las fajas transportadoras.
- Lado fuerza y protección: Relays de protección multilin SR469 para la parte AC motor y relays de protección multilin SPM conjuntamente con control DC para la parte DC motor.

Esto ayuda notablemente, ya que en el cuarto de control se puede visualizar el estado operativo ( On / Off) de los switches de presión de aire y aceite, switch de temperatura de aceite, estado de botoneras, y relés auxiliares de secuencia eléctrica del proceso y del contactor principal.

Sin embargo, no se tiene indicación numérica de las presiones y temperaturas reales con la finalidad de poder realizar un mantenimiento preventivo y predictivo adecuado y no esperar a solamente subsanar la falla que origino la parada, lo cual conlleva a tener perdidas en la producción.

En los demás molinos aun se tienen los siguientes equipos:

- Lado control: conjunto de relays, temporizadores, variadores de velocidad DC, balanzas electromecánicas Merrick, etc.
- Lado fuerza y protección: relays electromecánicos de protección de fase, sobrecorriente, sobrevoltaje, falla a tierra, medidores de energía, relay uspm, etc., tal y como se muestra en la Fig. 1.2.

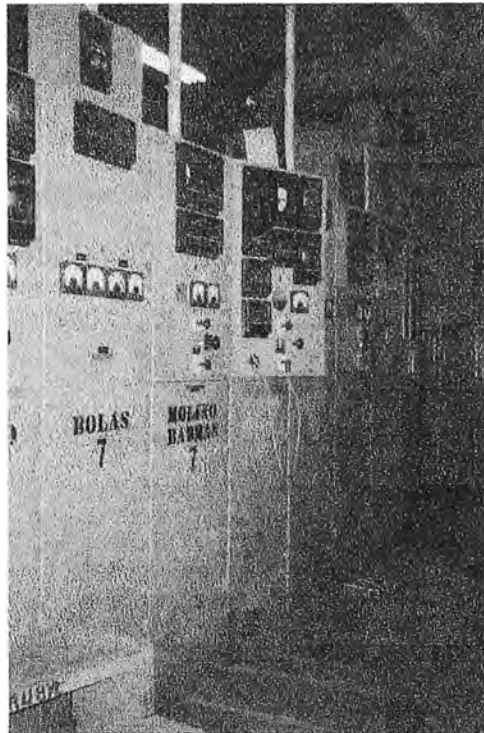


Figura 1.2: Estado actual del sistema de protección y medición eléctrica.

### 1.2.2 EQUIPOS ACTUALES INSTALADOS

Se debe de mencionar que solamente algunos molinos han sido automatizados parcialmente y los restantes aun continúan con tecnología obsoleta, sin embargo a continuación se detallan los sensores y equipos que actualmente se tienen en la Planta Magnética al momento se iniciar la implementación de este proyecto.

- Relay de protección y monitoreo de motor de corriente alterna Multilin SR469.
- Relay de protección y monitoreo de transformador Multilin SR745.
- Relay de protección y monitoreo de motor sincrónico Multilin SPM.
- Relay de protección y monitoreo de motor sincrónico uSPM.
- Registrador de papel de una sola variable Honeywell.
- Relay medidor de energía Multilin PQM.

- PLC discreto D50 y expansiones Cutler-Hammer.
- Variador de velocidad de corriente alterna AC Siemens.
- Variador de velocidad de corriente alterna AC Cutler-Hammer.
- Variador de velocidad de corriente directa General Electric.
- Sensores de temperatura RTD PT10 / PT100.
- Sensores de temperatura Termocupla.
- Switchs de presión diferencial (100 psi, 200 psi, 1000psi).
- Medidores digitales de sensores de temperatura RT100 y termocuplas.
- Panel mate series 1000 Cutler-Hammer.
- Rectificador dc control systems.
- Transformador estabilizador Sola.
- Balanza electromecánica Merrick.
- Balanza digital Ramsey.
- Relays electromecánicos de sobrecorriente, mínima frecuencia, falla a tierra, medidores de energía. Etc.

### **1.3 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN**

Luego de realizado un estudio técnico-económico, se opto por la siguiente alternativa de solución:

- Automatizar las 8 líneas (molino de bolas, barras, celdas de flotación.) independientemente, es decir, cada una con su respectivo sistema de control y seguridad, de tal manera que la falla de una línea no perjudique a las demás.
- Conforme se automaticen las líneas, estas se irán enlazando en red y llevadas a un mismo cuarto de control debidamente acondicionado para ello.
- Enlazar la Red Industrial seleccionada a la red Ethernet, teniendo en cuenta estrictas medidas de seguridad y personal de acceso debidamente acreditados. También estos datos serán enviados vía red hacia las gerencias de producción y beneficio para así tener un reporte actualizado del rate producido.

### **1.4 TECNOLOGIA SELECCIONADA**

Para ello se ha procedido a hacer la selección debido a los siguientes factores:

### **1.4.1 SELECCIÓN DEL ELEMENTO DE MEDICION Y PROTECCION DE MOTOR**

Como en las instalaciones de esta planta se cuenta con una gran variedad y cantidad de Relays de protección y medición Multilin de General Electric, tales como: SPM, SR469, SR745 y PQM; cuyas características mas resaltantes son:

- Son muy costosos.
- Ofrecen una gran confiabilidad.
- Son de tecnología actual.
- Familiarización de los técnicos con esta tecnología. y,
- Configuración y monitoreo vía puerto serial y/o vía red Modbus RTU

Se ha optado por continuar con esta línea para la parte de protección del motor.

### **1.4.2 SELECCIÓN DEL PROTOCOLO DE COMUNICACION**

Siendo la necesidad de enlazarlos en Red todos los dispositivos de control y protección, se ha optado por seleccionar al protocolo Modbus RTU para ello, el cual reúne las siguientes características:

- Es un protocolo tecnológicamente antiguo y de baja velocidad de comunicación.
- Solamente soporta enlace de 32 dispositivos esclavos, y
- Es un protocolo abierto manejable por los Relays Multilin.

Posteriormente se ha optado por pasar de la red modbus serial a la red Modbus Ethernet ( mediante unos convertidores especiales) con la finalidad de poder configurar remotamente estos dispositivos vía Red y también para aumentar la velocidad de comunicación entre ellos.

### **1.4.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE PLC**

Para la opción de PLC, se busco aquel que reúna las condiciones siguientes:

- Incorpore el protocolo Modbus RTU.
- Sea amigable en cuanto a su programación y manejo.
- Sea robusto y tenga una adecuada capacidad de memoria Ram.

Como en otras plantas del área de San Nicolás ( Parte del complejo de Shougang Hierro Peru), se tiene una aplicación en Modbus empleando para ello el PLC TSX compact E984 – 275, el cual es un PLC muy robusto y compacto se ha seleccionado este PLC.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.**

Con este nuevo sistema de tendrá una minimización del tiempo de paradas y el número de estas, lo cual repercute en más tiempo de producción y mejor programa de mantenimiento preventivo.

Además, se mejorará la calidad de los mismos por tener un completo de la carga a alimentar al molino de barras. Todo ello repercute en mejoras en producción y en alcanzar rates más altos y con estándares más óptimos.

## **1.6 INGENIERIA DE DETALLE**

### **1.6.1 CONTROL DE FAJA DE ALIMENTACIÓN**

El rate de la carga de alimentación al molino de barras será controlado por un PID configurado en el PLC y un sistema SCADA en el cual se selecciona el nivel de setpoint requerido. Este control lo efectúa variando la velocidad de la faja a través de un variador de velocidad AC Cutler-Hammer y la realimentación o feedback se logra leyendo el peso y velocidad que sensa la balanza ramsey microtech II a través del tacómetro, tal y como se aprecia en la figura adjunta (Fig. 1.3).

La balanza microtech II registra tanto el pesaje lineal como la velocidad de la faja y los datos son enviados vía red modbus RTU-485 al PLC y posteriormente al sistema de supervisión SCADA.

El variador AC regula la velocidad de la faja y es controlado por una señal analógica proveniente del PLC. Este PLC además de controlar el rate de la carga, se encarga del sistema de arranque / parada de la faja y los sistemas de protección de la  
Misma



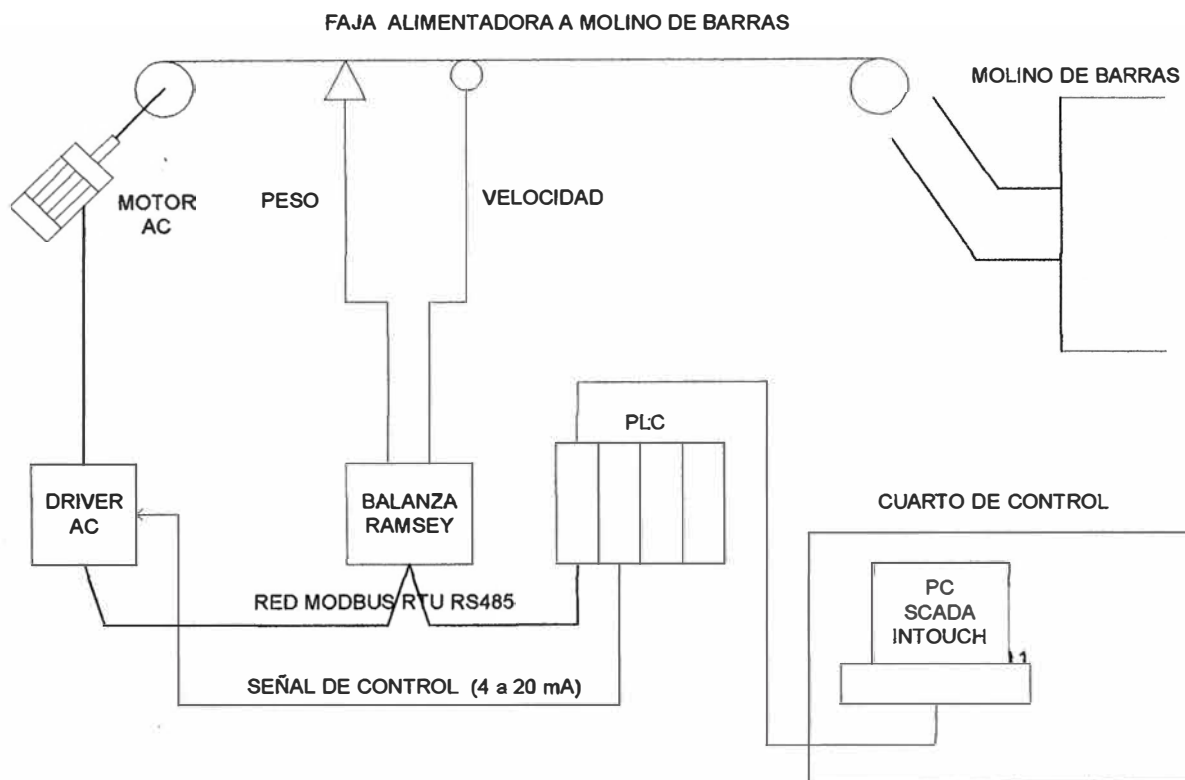


Figura 1.3: Control de faja de alimentación a Molino de Barras

### 1.6.2 CONTROL Y PROTECCIÓN DE MOLINO DE BARRAS

El sistema de protección eléctrica y de fuerza del molino de barras está constituido por dos relays de protección multilínea de General Electric: el primero es el SR469 el cual monitorea y protege al motor en el lado de AC (corrientes de fase AC, voltajes de línea AC, sensores de temperatura del motor, frecuencia, etc.); y el segundo, es el SPM el cual también protege y monitorea al motor pero del lado DC (corriente DC del campo, factor de potencia, voltaje DC del campo, etc.). Ambos son los encargados de mantener girando al motor sincrónicamente y protegerlo de alguna anomalía del mismo motor o de la línea de alimentación.

El PLC es el que controla y monitorea todos los parámetros físicos del motor, molino y los parámetros eléctricos del contactor principal. Una vez que estos están en los niveles permisibles recién se da pase a arranque del motor y posteriormente del molino, vale decir, entran a tallar los relays anteriormente mencionados. Todos los datos de monitoreo del PLC y de los relays de protección son llevados hacia el sistema Scada, tal y como se aprecia en la Fig. 1.4.

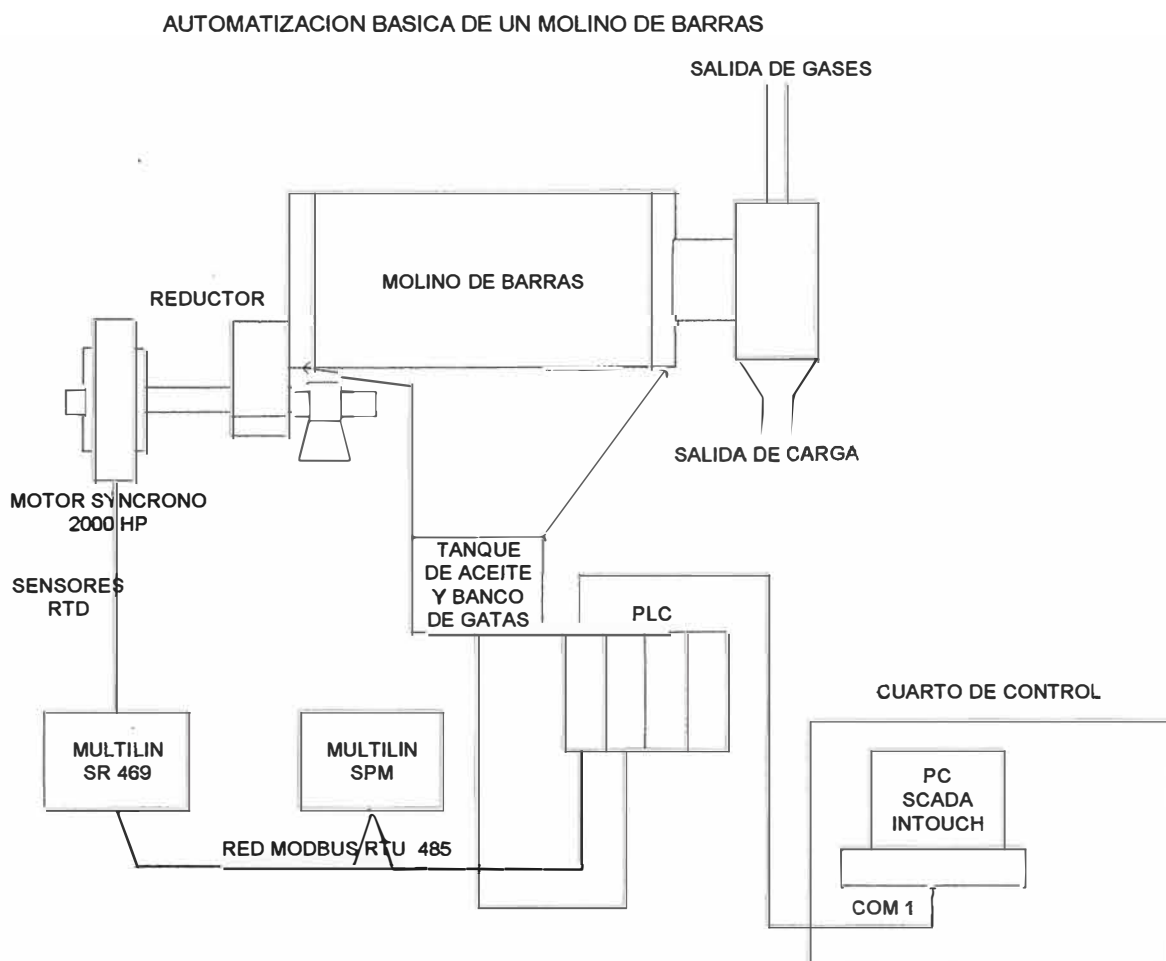


Figura 1.4: Control y protección y automatización de Molino de Barras

Cabe mencionar que ambos sistemas (molino de barras y faja alimentadora) corresponden a un solo sistema general, formando así un solo lazo de control.

A continuación se grafica la Red Modbus RTU RS-485 correspondiente a un molino de barras y su conexión ya sea tanto al PLC como su enlace a ethernet (TCP) vía un convertidor con la finalidad de poder configurar los relays multilin vía red sin la necesidad de ir al campo y también para ver la causa de una posible falla (línea a tierra, cortocircuito, sobrecorriente, bajo voltaje, factor de potencia del motor, etc ) los cuales se registran en memoria de estos dispositivos. Sin embargo el PLC, variador de velocidad y balanzas se deben de configurar en campo (ya sea manualmente o a través de su puerto serial nativo); y cualquier modificación se haría siempre en esta forma. Esto se visualiza en la figura 1.5.

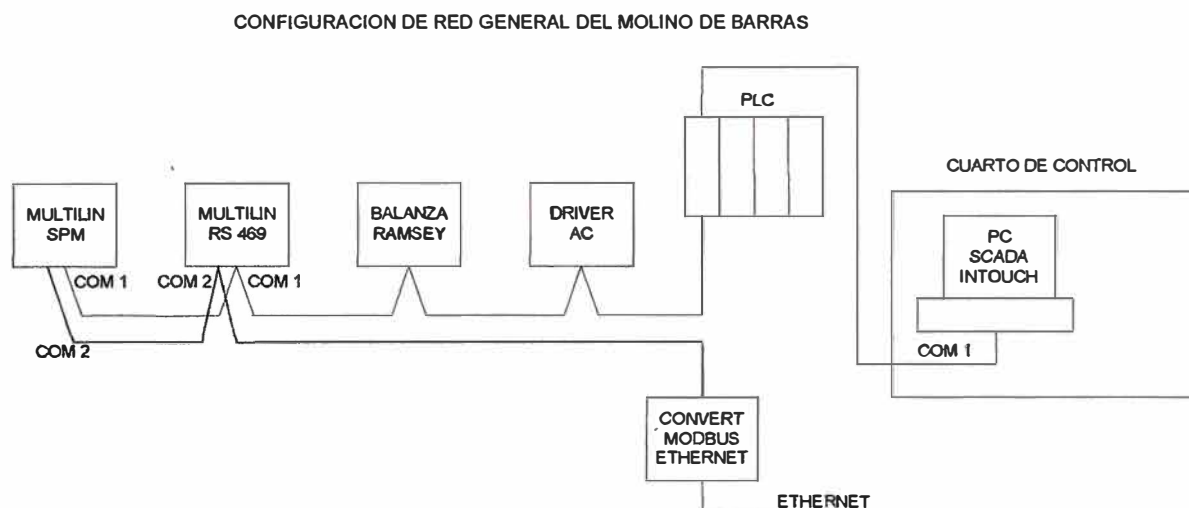


Figura 1.5: Control de faja de alimentación a Molino de Barras

### 1.6.3 CONTROL Y PROTECCIÓN DE MOLINO DE BOLLAS

Al igual que en molino de barras el sistema de protección eléctrica y de fuerza del molino de bolas esta constituido por dos relays de protección multilin de general eléctrico: el primero es el SR469 el cual monitorea y protege al motor en el lado de AC (corrientes de fase AC, voltajes de línea AC, sensores de temperatura del motor, frecuencia, etc. ); y el segundo, es el SPM el cual también protege y monitorea al motor pero del lado DC (corriente DC del campo, factor de potencia, voltaje DC del campo, etc.). Ambos son los encargados de mantener girando al motor sincrónicamente y protegerlo de alguna anomalía del mismo motor o de la línea de alimentación.

El PLC es el que controla y monitorea todos los parámetros físicos del motor ( que son muchos mas que en el de barras ) y los parámetros eléctricos del contactor principal. Una vez que estos están en los niveles permisibles recién se da pase al arranque del motor y posteriormente del molino, vale decir, entran a tallar los relays anteriormente mencionados.

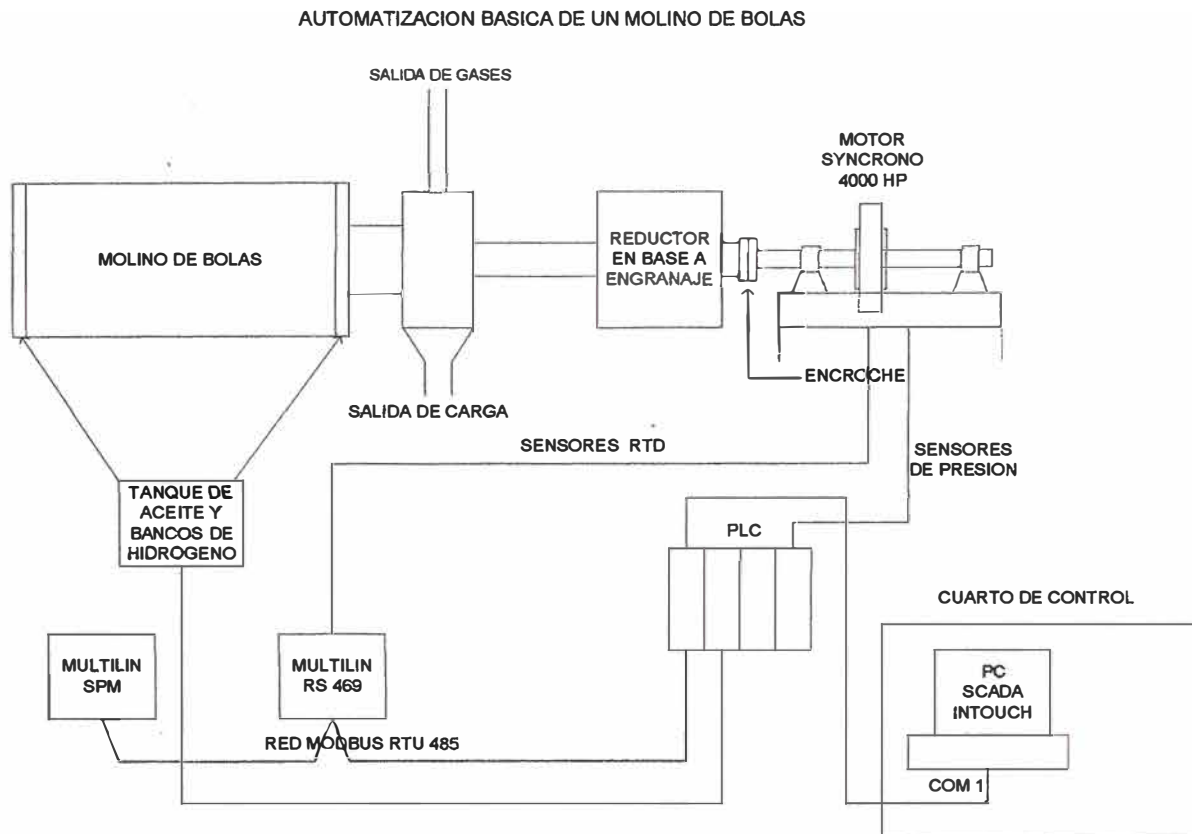


Figura 1.6: Control y protección y automatización de Molino de Bolas.

El PLC también controla el encroche, es decir, el acoplamiento del motor con el molino de bolas a través del sistema de reducción que posee, una vez que se ha alcanzado la velocidad de sincronismo.

Por último, este mismo PLC también controla el arranque y parada de los separadores magnéticos y de las zarandas correspondientes a esta línea.

Todos los datos de monitoreo del PLC y de los relays de protección son llevados hacia el sistema Scada, que es el mismo al del molino de barras, tal como se muestra en la figura 1.6.

#### 1.6.4 MONITOREO COMPLETO DE UNA LINEA

Si bien anteriormente tanto el molino de barras como el de bolas se han tratado como dos sistemas discretos, ambos están enlazados a un solo sistema como se muestra en la figura 1.7.

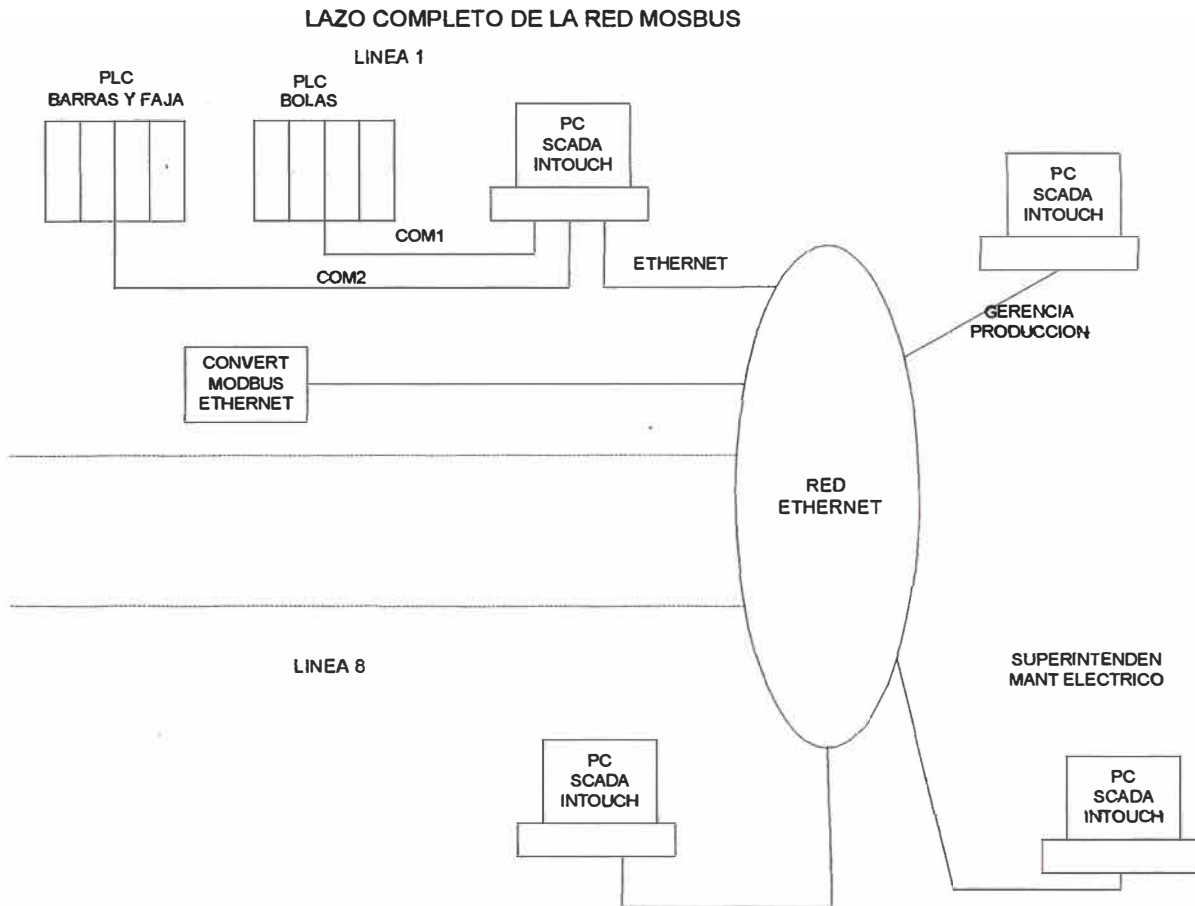


Figura 1.7: Lazo de monitoreo de las 8 líneas.

### 1.7 EQUIPOS Y CABLEADO REQUERIDO.

- Relay de protección y monitoreo de motor de corriente alterna Multilin SR469.
- Relay de protección y monitoreo de transformador Multilin SR745.
- Relay de protección y monitoreo de motor sincrónico Multilin SPM.
- Relay medidor de energía Multilin PQM.
- PLC Tsx Compac E984 - 275.
- Variador de velocidad de corriente alterna AC Cutler-Hammer.
- Sensores de temperatura RTD PT10 / PT100.
- Sensores / transmisores de presión cerabar.
- Medidores digitales de sensores de temperatura RT1000.
- Rectificador dc control systems.
- Transformador estabilizador Sola.
- PC con sistema operativo W2000 Y OFFICE 2000.
- Sistema Scada Intouch 512 tags.

- Balanza digital Ramsey.

## CAPITULO II

### DESCRIPCION DEL PROCESO PRODUCTIVO

#### 2.1 INTRODUCCION

La Planta Pelets dentro del proceso productivo viene a ser una de las etapas finales del Complejo Metalúrgico San Nicolás. Para estar ubicados dentro de este sector que es la minería, se indicará a continuación una breve descripción de las áreas, que empieza desde la extracción del mineral (Mina) hasta su proceso de transformación de concentrado fino, el cual es utilizado como materia prima en el proceso de peletización. (Complejo Metalúrgico San Nicolás). Tal como se muestra en la siguiente figura 2.1.

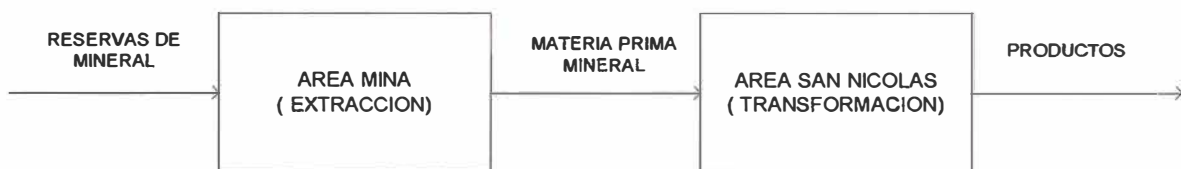


Figura 2.1: Bloque general del proceso productivo

#### 2.2 AREA MINA

Las etapas de las operaciones de minado comprenden:

- Perforación.
- Disparo.
- Carguio.
- Acarreo.
- Planta de chancado primario.

##### 2.2.1 ETAPA DE PERFORACIÓN

La perforación, es el proceso de penetrar la roca creando aberturas cilíndricas o taladros.

La perforación es una operación minera que tiene como objetivo hacer taladros cilíndricos, para cargar con mezclas explosivas, luego hacerla detonar y conseguir la fragmentación de la roca. De acuerdo a la naturaleza de la roca, se calcula la cantidad de explosivos a emplear.

### **2.2.2 ETAPA DE DISPARO**

La operación de disparo o voladura tiene una influencia predominante en el ciclo de minado, porque de sus resultados dependerán las siguientes operaciones: Carguío, Acarreo y Trituración o Chancado. Por lo que el proceso de fragmentar o fracturar las rocas se realiza mediante el uso de explosivos.

El explosivo químico es usado con mayor frecuencia en las actividades de minería superficial, donde la liberación de energía va acompañada de una reacción química.

### **2.2.3 ESTAPA DE CARGUIO**

El carguío de minerales, ya sea desmonte o mineral disparado en los frentes de los bancos de la Mina se realizan con palas eléctricas, palas neumáticas; retroexcavadoras y/o unidades, equipo auxiliar y cargadores frontales.

### **2.2.4 ETAPA DE ACARREO**

La operación de acarreo se realiza de acuerdo al tipo de mineral, desde las zonas de extracción hasta las canchas de estériles, canchas intermedias de mineral y en el caso de mineral beneficiable, a las plantas de Chancado, mediante camiones pesados especiales para este propósito, provistos de tolva; con volteos cuyas capacidades están entre 120 y en algunos casos de 200 toneladas métricas.

### **2.2.5 PLANTA DE CHANCADO PRIMARIO**

El mineral fracturado proveniente de los frentes de trabajo de los tajos, son depositados por los camiones de acarreo, en las plantas de chancado, donde es reducido el mineral a un determinado tamaño, de acuerdo a la necesidad del proceso, para luego ser almacenados en canchas o pilas, clasificándose de acuerdo al tipo de mineral, su ley o calidad.



## 2.3 AREA DE BENEFICIO DE SAN NICOLAS

Las etapas de las operaciones en el complejo metalúrgico San Nicolás comprenden:

- Recepción de crudos (proveniente de la mina).
- Planta Chancadora (chancado secundario).
- Planta Magnética o de Concentración.
- Planta Filtros.
- Planta Pelets.

Tal como se aprecia en la figura 2.2.

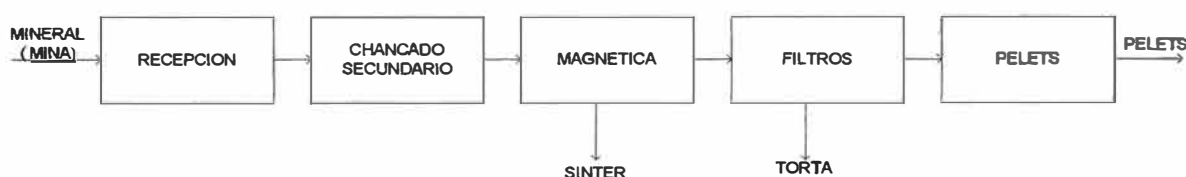


Figura 2.2: Bloque general del proceso productivo de San Nicolás

## 2.4 STOCK DE CRUDOS

Aquí se recibe el mineral que viene de la mina para su reducción de tamaño. El mineral transferido de la mina a San Nicolás tiene una dimensión de 2" en un 75%. La capacidad de almacenamiento de esta área es de aproximadamente unas 400000 toneladas métricas de minerales debidamente clasificados en sus diferentes tipos; posteriormente a cada tipo de mineral se le aplica un plan de mezcla para su utilización en la planta Concentradora (Planta magnética).

Los minerales de la zona de transición son beneficiados por procesos gravimétricos y los minerales primarios por procesos magnéticos.

## 2.5 PLANTA DE CHANCADO SECUNDARIO

Las Plantas de Chancado tienen como objetivo reducir el tamaño del mineral, para luego pasar a la fase de molienda y de concentración.

La alimentación del mineral a las Plantas de Chancado se realiza por medios de fajas transportadoras.

La Planta de Chancado están constituidas por la Planta N°1, que contiene dos chancadoras que trituran el mineral primario (P.O.) en circuito cerrado. Esta planta tiene una capacidad de molienda de 500 TLH y la Planta N°2, que opera con mineral primario

(P.O.), y mineral trancisional (T.O., O.X.). Esta constituido por zarandas vibratorias y dos chancadoras que trabajan en circuito abierto. La capacidad de chancado es de 1600 TLH, reduciendo el mineral a  $-3/4''$  (80%).

## **2.6 PLANTA MAGNETICA O CONCENTRACIÓN**

### **2.6.1 GENERALIDADES**

En esta planta se benefician principalmente los minerales primarios aunque en ciertos casos se tratan los minerales trancisionales.

Los minerales que están acumulados en los 8 silos, con capacidad de 4,600 toneladas cada uno, son alimentados a la Planta Magnética que cuenta esta con dos circuitos que son: el de molienda gruesa, para la producción de mineral de alta ley; y el circuito de molienda fina, para la producción de concentrado de estructura fina con alto contenido de fierro y bajo contenido de impurezas. Parte del concentrado de molienda fina se emplea para la fabricación de pelets, y la otra se comercializa en forma de torta, previo proceso de espesado y filtrado.

En general, el proceso de molienda consta de 8 líneas paralelas (molinos de barra, molinos de bola, separadores magnéticos, flotación, etc) instaladas en un edificio, los cuales operan como una sola planta.

### **2.6.2 CONDICIONES DE MOLIENDA**

La alimentación a los molinos de barras se controla automáticamente por medio de una faja de velocidad variable y una balanza.

El tonelaje alimentado es normalmente de 200 a 230 toneladas largas por hora (TLPH) dependiendo de las condiciones de molienda controlada por análisis de malla en el producto de descarga. La molienda se realiza con agua de mar. La temperatura en la descarga del molino de barras es de 80 a 85°F, el pH de la pulpa normalmente varia de 6.6 a 6.9.

### **2.6.3 SEPARADORES MAGNETICOS**

Son del tipo concurrente (flujo y rotación del tambor) con imanes permanentes; de acuerdo a su intensidad magnética se clasifican en primarios, de doble tambor y separadores secundarios de baja intensidad de doble y triple tambor.

#### **2.6.4 CIRCUITO DE MOLIENDA GRUESA**

El mineral chancado en la Planta de Chancado de San Nicolás es almacenado en silos de 4,600 tons. de capacidad cada uno, desde por gravedad y controlados por los feeders (Marca Syntron), se alimenta el mineral a los molinos de barras; un molino muele mineral transicional y dos de ellos muelen mineral primario. El circuito está integrado por tres molinos de barras de 10'8"x16', con una capacidad de 200 TLH cada uno. La descarga de los molinos pasa por ciclones (marca Krebb) con el fin de separar la fracción muy fina. La fracción gruesa pasa por zarandas (marca Terrik) de 4'x8' equipadas con mallas y de allí al circuito de molienda fina.

#### **2.6.5 CIRCUITO DE MOLIENDA FINA**

Se dispone de dos circuitos; uno de ellos es el que se beneficia directamente el mineral acumulado en los silos y el otro, en el que se concentra las fracciones segregadas en el circuito de molienda gruesa.

El primer circuito esta integrado por 5 líneas de molienda compuesta cada una de ellas por los siguientes equipos:

- 1 molino de barras de 10'8"x16'.
- 2 separadores magnéticos de un tambor de 36"x96".
- 1 molino de bolas de 14'x41'.
- 5 separadores magnéticos de triple tambor de 302x72".

El siguiente circuito está integrado por tres líneas de molienda, compuesta cada una de ellas por los siguientes equipos:

- 2 separadores magnéticos de un tambor de 30"x72".
- 1 molino de bolas de 10'8"x22'.
- 2 separadores magnéticos de doble tambor de 30"x72".

El concentrado magnético obtenido en los dos circuitos, pasa al circuito de flotación, compuesta por 48 celdas de flotación de 100 pies cada una. De este circuito el concentrado final pasa a dos espesadores tipo Dorr.

Parte del concentrado en los espesadores es remitido a la Planta de Filtrado.

Tanto los circuitos de molienda gruesa como los de molienda fina cuentan con todos los elementos auxiliares necesarios tales como alimentadores de mineral, fajas transportadoras, balanzas de faja, bombas, etc.

### 2.6.6 MOLINO DE BARRAS

Como se aprecia en la figura 2.3, el sistema de un molino de barras está constituido por un motor sincrónico de 2000 hp y 4160 Vac, y una caja de reducción a base de un conjunto de engranajes.

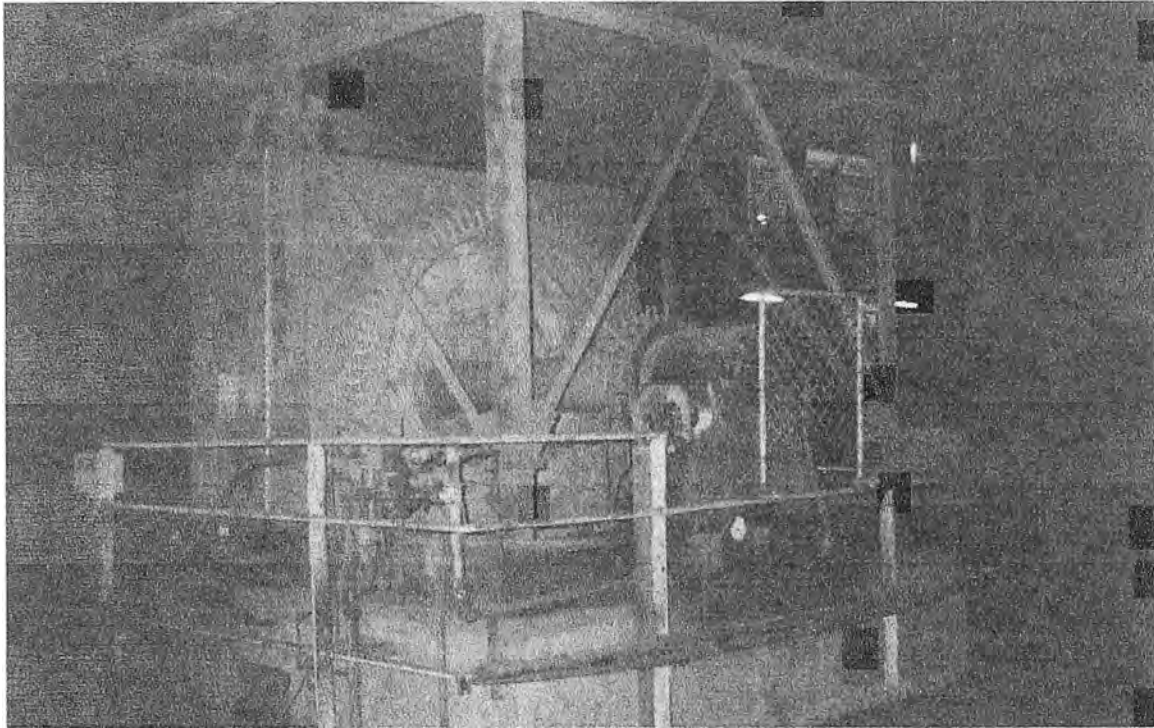


Figura 2.3: Vista del motor de un molino de barras.

También consta de un conjunto de gatas que se encargan de controlar y mantener la presión de aire ( 2000 psi aprox.) que va hacia el babit de los molinos. También a estos molinos se le inyecta grasa desde un tanque de grasa, a una determinada presión para mantener una adecuada lubricación de los mismos. Como el molino está en constante movimiento, esto produce fricciones, trayendo consigo un calentamiento de la grasa de lubricación, por lo que este es recirculado hacia el tanque de grasa. La temperatura de la grasa es controlado y monitoreado mediante dos sensores RTD PT100 ubicado en ambos lados del molino, tal y como se puede apreciar en la imagen adjunta (Fig. 2.4).

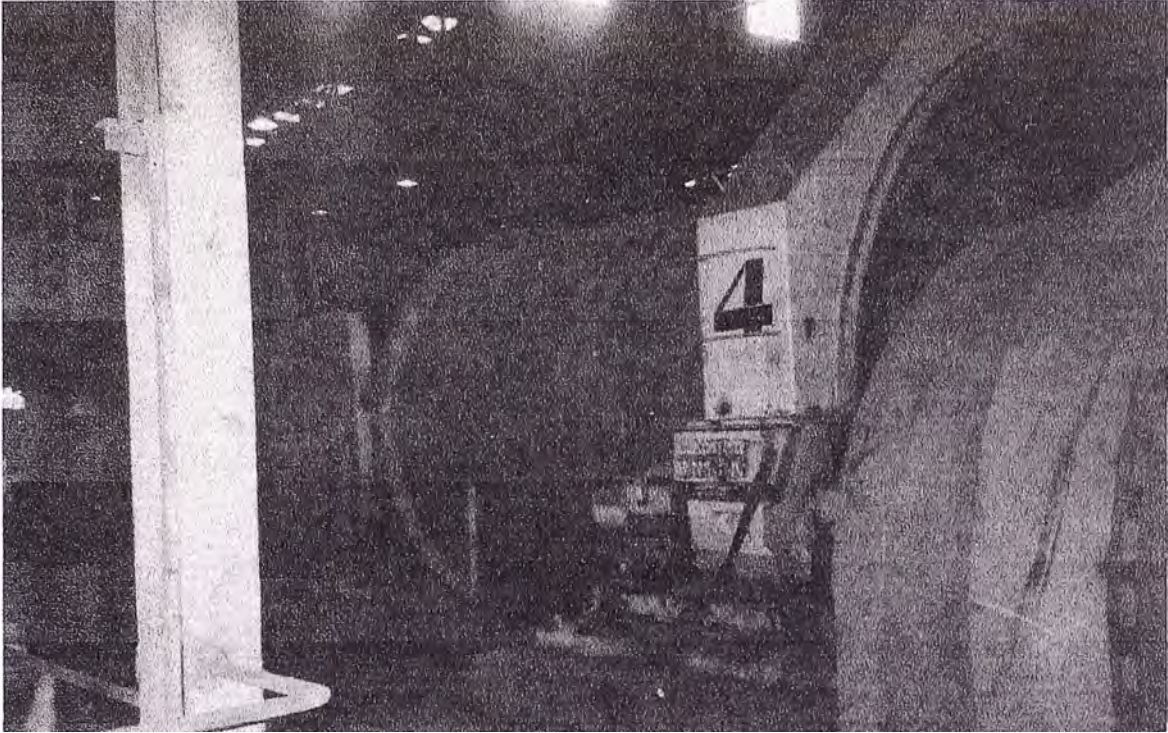


Figura 2.4: Vista de las gatas y switch de presión de un molino de barras

La caja de reductores (constituido por un conjunto de engranajes), es lubricado por aceite. Este reductor reduce la velocidad elevada del motor a la velocidad lenta de giro del molino de barra. Todo el lazo general de un molino de barras se muestra en la figura 2.5.

### ESTRUCTURA BASICA DE UN MOLINO DE BARRAS

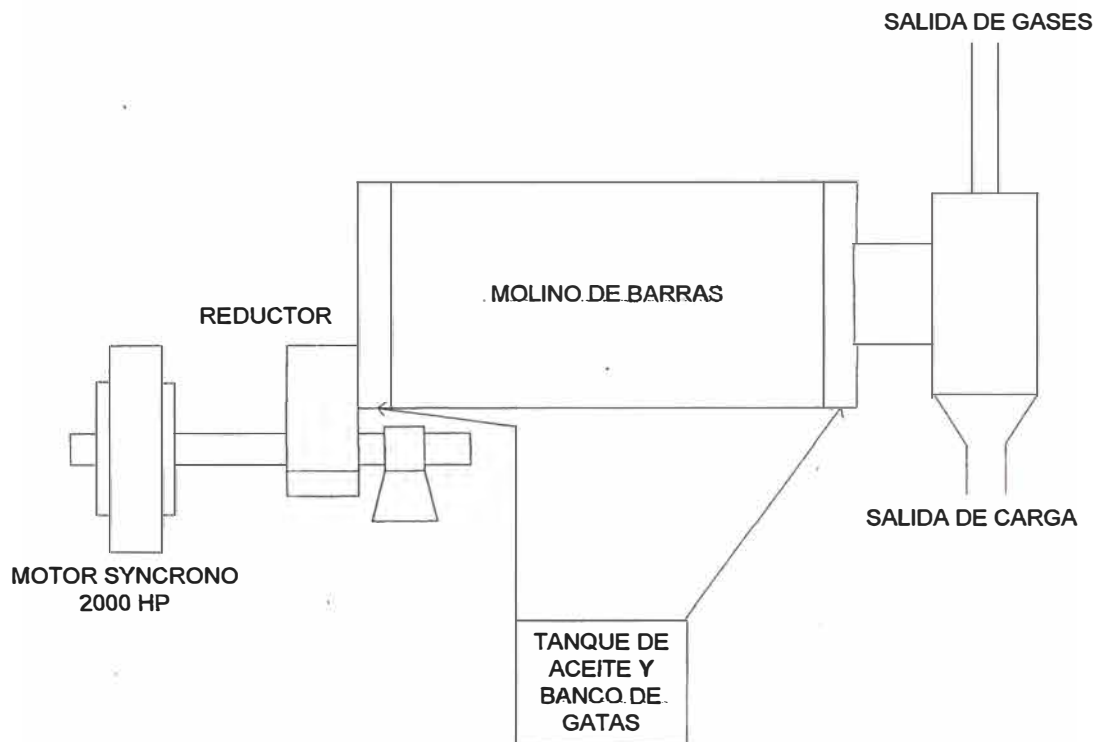


Figura 2.5: Diagrama esquemático de un molino de barras.

En cuanto al motor sincrónico de 2000 Hp y 4160 VAC, primeramente se le aplica a este los 4160 VAC operando así como un motor de inducción normal. Luego después de acelerar y alcanzado el 95 % de la velocidad de sincronía, se le aplica la corriente directa o DC a los enrollamientos de campo del rotor ( aprox. 195 amp). Esta corriente DC crea polos de polaridad constante en el rotor, con lo cual se consigue que el motor gire a la velocidad de sincronismo y se mantenga así.

Este motor es controlado por 4 sensores de temperatura: 2 en el bearing y 2 en el estator.

Cuando se para el molino por alguna razón, a este se le aplica automáticamente hidrógeno a una presión elevada mínima de 200 bar para mantenerlo girando mientras dure la inercia del molino y así no se produzca fricciones fuertes o rajaduras en el babit.

#### 2.6.7 MOLINO DE BOLAS

Como se aprecia en la figura 2.6, el sistema de un molino de bolas está constituido por un motor asíncrono de 4000 HP y 4160 VAC, una caja de reducción a base de un



conjunto de engranajes y un sistema de encroche o enclavamiento que opera con aire a una determinada presión.

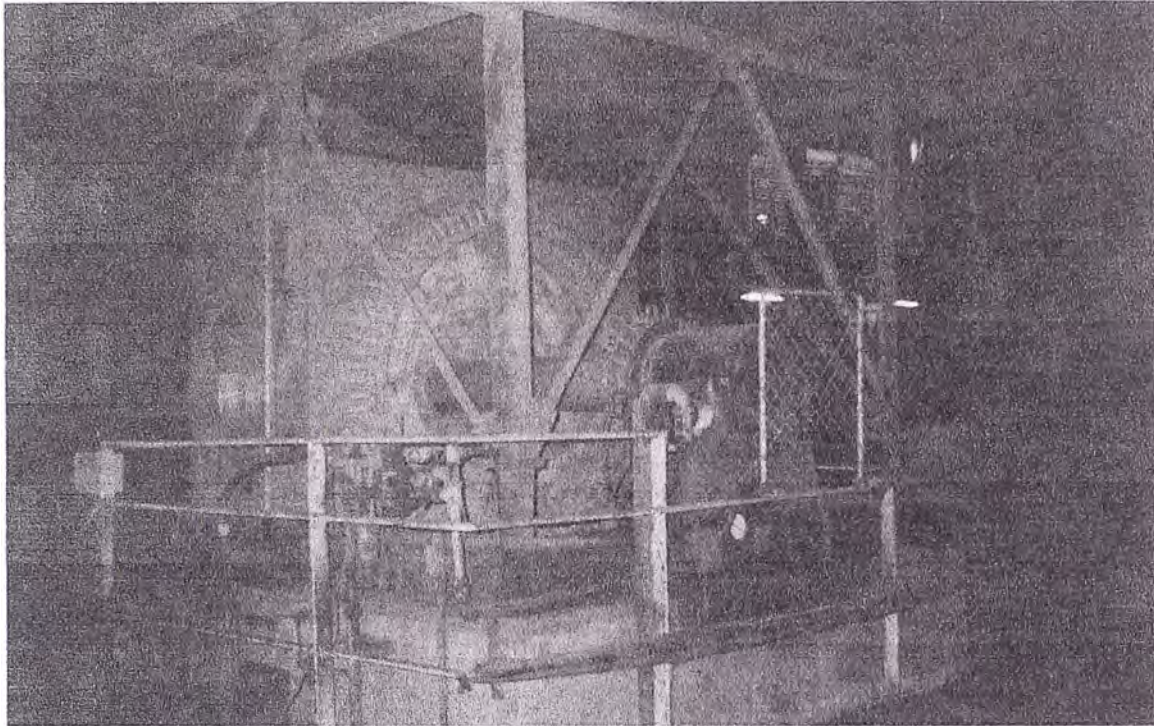


Figura 2.6: Vista del motor de un molino de bolas.

También consta de un cuarto de bombas de aceite y un conjunto de balones de hidrógeno. Las bombas de aceite se encargan de controlar y mantener el aceite que va hacia el babit de los molinos a una determinada presión y temperatura ( 110 bar y 55 °C), logrando una adecuada lubricación de los mismos. Como el molino está en constante movimiento, esto produce fricciones, trayendo consigo un calentamiento del aceite de lubricación, por lo que este es recirculado hacia el tanque de aceite, pasando primeramente por un sistema de enfriamiento del mismo.

La caja de reductores (constituido por un conjunto de engranajes), es lubricado por aceite, la misma que se mantiene a una determinada presión y temperatura ( entre 9 y 25 psi). Este reductor reduce la velocidad elevada del motor a la velocidad lenta de giro del molino de bolas.

En cuanto al motor sincrónico de 4000 Hp y 4160 VAC, primeramente se le aplica a este los 4160 VAC operando así como un motor de inducción normal. Luego después de acelerar y alcanzado el 95 % de la velocidad de sincronía, se le aplica la corriente directa o

DC a los enrollamientos de campo del rotor (aprox. 195 amp). Esta corriente DC crea polos de polaridad constante en el rotor, con lo cual se consigue que el motor gire a la velocidad de sincronismo y se mantenga así.

Este motor es controlado por 4 sensores de temperatura: 2 en el bearing y 2 en el estator. Una vez que el motor gira a la velocidad de sincronismo, se le inyecta aire a la presión de 110 psi aprox., logrando así el encroche y el movimiento del molino respectivamente.

Cuando se para el molino por alguna razón, a este se le aplica automáticamente hidrógeno a una presión elevada mínima de 200 bar para mantenerlo girando mientras dure la inercia del molino y así no se produzca fricciones fuertes o rajaduras en el babbit. Esto se detalla en la figura 2.7.

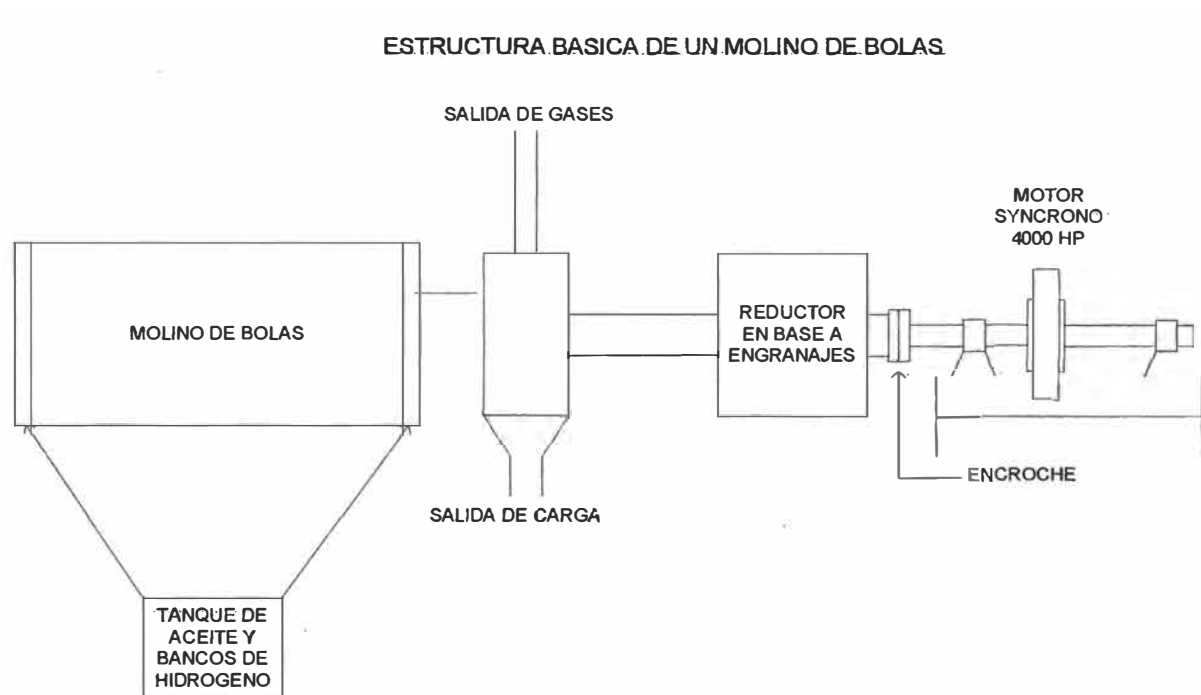


Figura 2.7: Diagrama esquemático de un molino de bolas.

### 2.6.8 FAJA ALIMENTADORA

Como se podrá observar en la figura adjunta, la velocidad de la faja que alimenta de mineral al molino de barras es controlada por un variador de velocidad alterna (AC Driver); la misma que es regulada y controlada desde el cuarto de control del operador a través de un potenciómetro variable y visualizada mediante un meter digital marca "simsom".



El rate de la carga que transporta la faja es controlada por una balanza ya sea digital o electrónica (Ramsey o Merrick respectivamente), la cual emplea celdas de carga tipo “S” y un tacómetro para censar la velocidad de dicha faja. La salida de 4 a 20 mA (LTPH) de esta balanza es llevada hacia el cuarto de control la cual es registrada mediante un registrador de papel (Honeywell o Chessel), dependiendo del estado actual de esa línea. A continuación se grafica el esquema básico (Fig. 2.8)

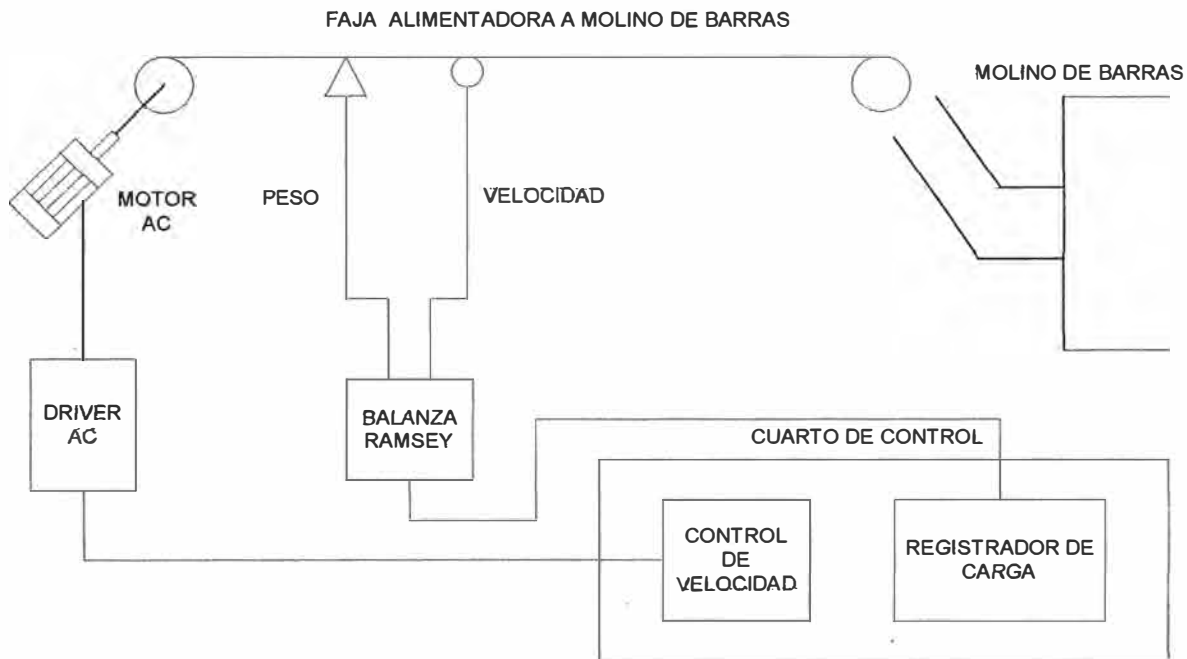


Figura 2.8: Diagrama esquemático de la faja alimentadora a molino de barras.

## 2.7 PLANTA FILTROS

La Planta Filtros consiste en el espesamiento de la pulpa proveniente de Planta Magnética, para luego pasar al proceso de filtrado propiamente dicho, obteniéndose concentrados de mineral con un porcentaje de humedad de 8.5 a 9.5%.

El proceso de filtrado del concentrado se realiza por medio de filtros de discos, con agitación mecánica y nivel de tanques controlados por rebose.

## 2.8 PLANTA PELETS

Esta planta consiste básicamente de tres etapas:

- Mezcla de bentonita con el mineral filtrado proveniente de Planta Filtros.
- Formación de los pelets que se realiza en los discos peletizadores.

- Transformación de los pelets formados de composición magnética.

## **CAPITULO III**

### **REDES INSIDUSTRIALES**

#### **3.1 CONCEPTO DE RED**

Una Red podría definirse como la conexión de dos o más elementos a través de algún medio de transmisión. Cuando se habla de un conjunto de elementos, nos referimos a computadoras, PLCs, transmisores, paneles de operadores, u otros dispositivos conectados para compartir recursos.

La forma como estos elementos u dispositivos son conectados es lo que se denomina “Topología de redes”.

#### **3.2 TOPOLOGIA DE REDES**

La topología de redes describe la forma en que varios equipos son conectados a la red. Las topologías básicas son: estrella, anillos y bus.

##### **3.2.1 TOPOLOGIA TIPO ANILLO**

Este tipo de red esta constituida por un conjunto de estaciones conectadas en serie y formando un anillo cerrado. Cada nodo o estación esta conectada a la red a través de una interfase que tiene la función de retransmitir datos que no están destinados a ese nodo o estación, leer los datos destinados a ese nodo e insertar en la trama los datos enviados por el.

##### **3.2.2 TOPOLOGIA TIPO ESTRELLA**

En este tipo de topología todos los nodos están conectados a un nodo central a través del cual pasan todos los datos. El nodo central es común para todos y normalmente posee mayor capacidad de proceso. Sin embargo en algunos casos el nodo central tiene la función principal de conmutación y diagnóstico.

### **3.2.3 TOPOLOGIA TIPO BUS**

En esta topología todas las estaciones se conectan a un medio de transmisión común a través de interfases pasivas. Su alta fiabilidad radica en que las interfases de enlace son pasivas, no afectando al funcionamiento global de la red en caso de falla. Cuando se desee insertar mas estaciones es necesario tener presente las características físicas del medio de transmisión.

### **3.3 MEDIO DE TRANSMISIÓN**

El medio de transmisión es el soporte físico que permite conectar físicamente las estaciones y el medio por donde viajan las señales que representan los datos que se transmiten de una estación a otra.

El medio de transmisión seleccionado para una red influye en las características de velocidad de transmisión y cantidad de información que transporta ese medio. La selección del medio de transmisión depende también de las condiciones de trabajo en las que se desarrolla la aplicación.

Entre los medios de transmisión más usados en las redes industriales tenemos:

#### **3.3.1 CABLE PAR TRENZADO**

Este cable esta compuesto por dos conductores trenzados entre si con la finalidad de reducir el ruido y mantener constante las propiedades eléctricas del medio a lo largo de su longitud. Los hilos conductores son generalmente de cobre, pudiendo estos estar blindados dependiendo de la tecnología que emplean.

#### **3.3.2 CABLE COAXIAL**

Este tipo de cable esta constituido por dos conductores concéntricos y separados por un dieléctrico, donde el conductor extremo va conectado a tierra. El cable coaxial permite una buena velocidad de transmisión con la ventaja adicional que este puede transportar varios mensajes simultáneamente. El ancho de banda del cable coaxial puede ser de hasta 10Mhz.

### **3.3.3 CABLE DE FIBRA OPTICA**

Este tipo de cable esta compuesto por un haz de finos hilos de fibra de vidrio, cuya transmisión se efectúa a través de la señal de luz codificada emitidos por diodos emisores de luz (LED) o láser de semiconductores.

La capacidad de transmisión de la fibra óptica es mucho mayor que la del cable coaxial (5 a 8 veces). Durante la transmisión, las señales eléctricas son convertidas en señales de luz. Esto evita que la interferencia electromagnética influya en la información a transmitir. Un ejemplo clásico es emplearlo cerca de líneas de alto voltaje.

## **3.4 MODO DE COMUNICACIÓN.**

Se define como modo de comunicación a la manera como dialogan los diversos elementos conectados en una red. Existen tres modos posibles de comunicación.

### **3.4.1 COMUNICACIÓN SIMPLEX**

En este modo la información fluye en un solo sentido. No es posible confirmar la recepción de un mensaje. Ejemplos de este modo de comunicación son la radio y la televisión.

### **3.4.2 COMUNICACIÓN HALF DUPLEX**

En este modo la información fluye en ambas direcciones. Primero transmite un elemento y después que este ha finalizado, trasmite el elemento que responde. Un ejemplo de este modo es el telefax.

Este es el modo de comunicación preferido que emplean los elementos de campo en una red industrial.

### **3.4.3 COMUNICACIÓN DUPLEX**

En este modo la información puede ser transmitida y recibida simultáneamente. Un ejemplo es la conversación telefónica entre dos personas. Sin embargo, para comunicaciones entre maquinas se requieren línea separadas para transmisión y recepción debido a que de otra manera la información no podría ser decodificada.

### **3.5 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN.**

Este parámetro indica cuantos bits por segundo pueden ser transmitidos entre el transmisor y el receptor. Todos los elementos de la red deben operar a la misma velocidad. La velocidad máxima esta limitada por el tipo de interface y el medio de trasmisión usada.

La velocidad de transmisión también es función de la longitud de la línea. Esto es debido a que la probabilidad de interferencia electromagnética se incrementa con el incremento de la longitud, pero decrece con la disminución de la velocidad de transmisión. Velocidades de transmisión entre 1200 bit/s y 37,5 Kbit/s pueden ser alcanzados por medios simples. Para velocidades mayores a 1Mbit/s se requieren cables de cobre especial o cables de fibra óptica.

### **3.6 INTERFAZ FÍSICA.**

Las interfaces de comunicación serial son elementos que permiten la transmisión de información de un equipo de datos (DTE) hacia un modem o hacia el medio de transmisión por el cual va a comunicarse con otro equipo de datos (DTE).

La transmisión de datos vía este medio, están sujetos a estándares internacionales para asegurar la compatibilidad entre equipos de diferentes fabricantes.

El tipo de interfase estándar en el nivel de campo industrial es serial.

Las siguientes interfaces seriales son la de mayor aplicación industrial:

#### **3.6.1 INTERFASE RS 232-C**

Esta interfase es muy común en la actualidad, y se aplica mayormente en aplicaciones informáticas. La interfase RS 232-C es una interfase de tensión de +12V y – 12V definida para los transmisores seriales.

Esta interfase es usada cuando se desea conectar dos equipos mediante cable multipar. Ejemplo conexión de una computadora a un servicio periférico o modem.

Dentro de sus características tenemos:

- La velocidad de transmisión puede ser menor o igual a 19,200bps.
- La distancia entre estaciones a transmitir deberá ser menor de 15m.
- Solo permite tener un transmisor y un receptor.
- El modo de comunicación permitida es “duplex”.

- Existe dos hilos para la comunicación de datos (pin 2) para la transmisión y (pin 3) para la recepción. El retorno para las señales de datos y control se da a través del pin 7.

### **3.6.2 INTERFASE RS-422**

Esta interfase cubre solamente los requerimientos físicos y eléctricos para la transmisión. Esta interfase emplea señales eléctricas diferenciales que permiten grandes velocidades de transmisión de hasta 10 Mbits/s.

Dentro de sus características tenemos:

- La velocidad de transmisión puede ser menor o igual a 10 Mbps.
- Es posible que un transmisor pueda operar sobre un máximo de 16 receptores.
- En el terminal de recepción la diferencia entre los niveles de voltaje es utilizada para descodificación de señales, lo que permite que la transmisión de información sea inmune a las señales de ruido o campos externos a las líneas de transmisión.
- De esta manera es posible emplear mayores distancias que la que usa la interfase RS232C, es decir llega hasta 1220 metros.
- Emplea el modo de comunicación duplex.

### **3.6.3 INTERFASE RS-485**

Esta interfase a diferencia de la interfase RS232C se define como interfases del tipo balanceada y con transmisión diferencial. Una interfase balanceada consiste en que la transmisión de cada señal se realiza a través de un circuito exclusivo de dos hilos.

Una transmisión diferencial consiste en que la información esta representada por la diferencia de potencial existente entre los dos hilos del circuito comprendido desde la salida del transmisor hasta la entrada al receptor.

Dentro de sus características tenemos:

- Permite enlaces multipunto.
- Tiene alta calidad en la transmisión.
- Empleando un cable de par trenzado se puede transmitir a velocidades de hasta 100 Kbps a una distancia de 1000 m.
- La longitud máxima de la línea de transmisión varia desde 1,2 Km. (a 93,75 Kbit/s) hasta 200 m. (a 500 Kbit/s).
- Emplea el modo de comunicación half-duplex.

- Hasta un máximo de 32 servicios actuando como transmisores o receptores pueden ser conectados a un cable de dos hilos (en operación tipo bus).
- Tiene gran aplicación en aplicaciones industriales.



## **CAPITULO IV**

### **PROTOCOLO MODBUS RTU**

#### **4.1 INTRODUCCION**

Modbus es un protocolo de mensajería en la capa de aplicación, ubicado en el nivel 7 de la capa OSI, que proporciona una comunicación cliente / servidor o maestro / esclavo entre dispositivos conectados sobre diferentes tipo de buses de redes.

El protocolo Modbus es la industria serial por excelencia desde 1979. Hoy, el soporte para este simple protocolo continua creciendo.

Modbus es un protocolo Pregunta / Respuesta que trabaja en base a funciones de código. Los Documentos de referencia de este protocolo se encuentran en:

Protocolo de Internet RFC 791.

Guía de Referencia de protocolo Modbus, Rev J.

Este Protocolo esta actualmente implementado usando:

TCP / IP sobre Ethernet.

Transmisión Serial Asíncrona sobre una variedad de medios tales como: EIA / TIA-232-E, EIA-422, EIA / TIA-485-A; Fibra, Radio.

Modbus Plus en redes de token pasante de alta velocidad.

Estas implementaciones se visualizan en la figura 4.1.

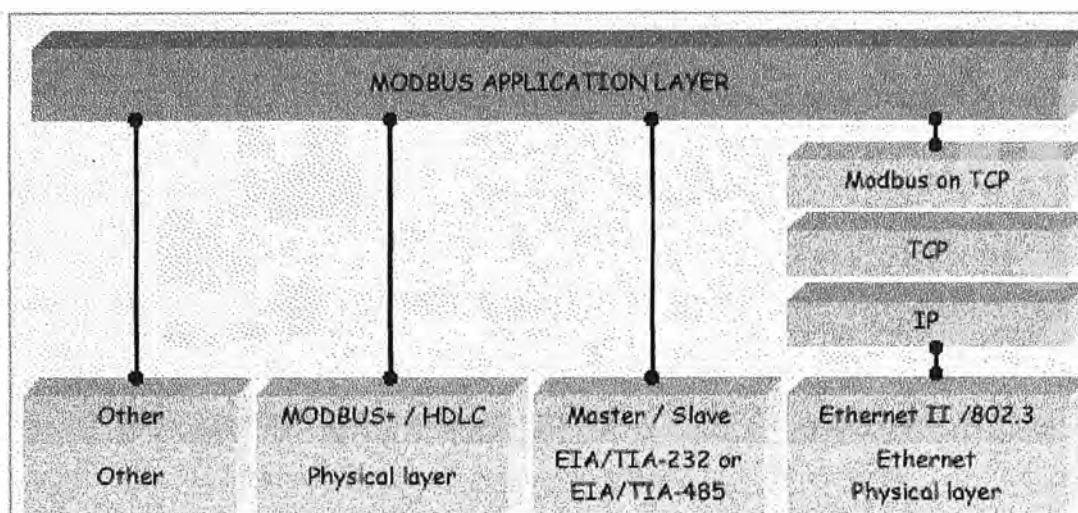


Figura 4.1: Pila de Comunicación Modbus.

## 4.2 CONTEXTO DE APLICACION

El protocolo Modbus permite una fácil comunicación con todos los tipos de arquitecturas de redes, tal y como se muestra en la figura 4.2.

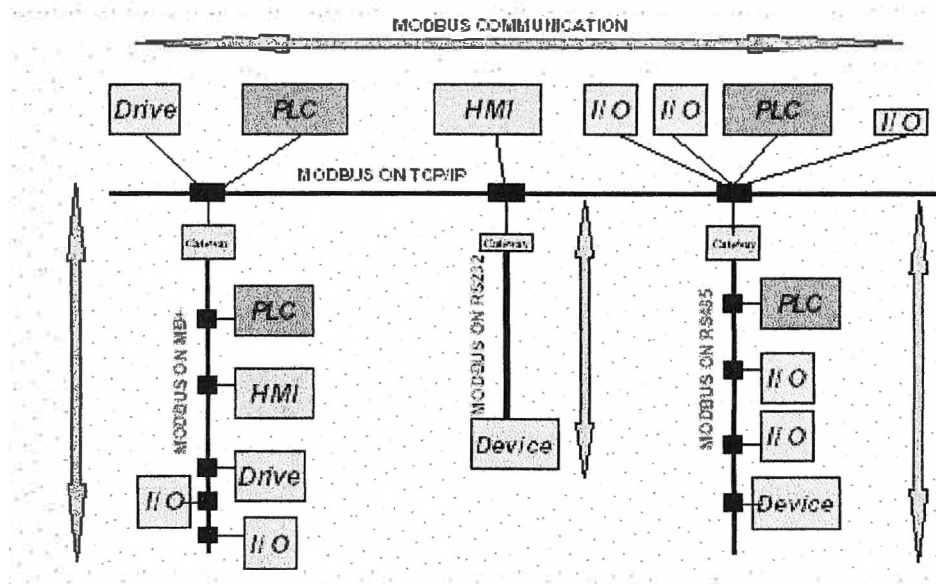


Figura 4.2: Ejemplo de una arquitectura de red Modbus.

Cada tipo de dispositivo ( PLC, HMI, Panel de Control, Variador de velocidad, Control de movimiento, Dispositivos de Entrada / Salida, ...), puede emplear el protocolo Modbus para iniciar una operación remota. La misma comunicación puede ser realizada tanto sobre línea serial como sobre una red Ethernet TCP / IP.

Algunos Gateways permiten una comunicación entre varios tipos de buses o redes usando protocolo Modbus.

### 4.3 DESCRIPCION GENERAL

#### 4.3.1 DESCRIPCION DEL PROTOCOLO

El protocolo Modbus define una simple unidad de data de protocolo ( PDU ) independiente de las capas de comunicación (Fig. 4.3). El mapeo del protocolo Modbus sobre buses o redes específicas pueden introducir algunos campos adicionales sobre la unidad de data de protocolo o PDU.

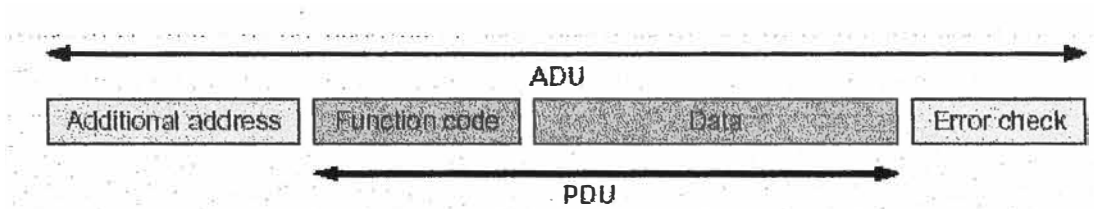


Figura 4.3: Formato general del protocolo Modbus.

La unidad de aplicación de datos Modbus es construida por un cliente que inicializa una transacción Modbus. La función indica a el servidor o master que clase de acción va a desarrollar.

El protocolo de aplicación modbus establece el formato de una pregunta o consulta inicializada por el cliente.

El campo de Código de función de la unidad de data Modbus esta codificada en un byte. Los códigos validos están en el rango de 1 hasta 255 ( Los códigos a partir de 128 hasta 255 son reservados para respuestas especiales). Cuando un mensaje es enviado desde un dispositivo cliente a un dispositivo servidor, el campo de código de función dice al dispositivo servidor que clase de acción va a desarrollar.

El campo de datos de los mensajes enviados desde un dispositivo cliente a un dispositivo servidor contiene información adicional que el servidor emplea para tomar la acción definida por el código de función. Esta puede incluir ítems de direcciones de registros o de puntos dicretos, la cantidad de ítems a ser manejados y la cantidad actual de bytes de datos en el campo. El campo de datos puede ser no existente (o de longitud cero )

en ciertas clases de preguntas o requerimientos, en este caso el dispositivo servidor no requiere de cualquier información adicional.

Si no ocurren errores relacionados a la función Modbus requerida en un correcto ADU Modbus recibida, el campo de datos da una respuesta desde un dispositivo servidor a un cliente contiene el dato requerido. Si ocurre un error referida a la función Modbus requerida, el campo de datos contiene un código de ejecución que la capa de aplicación del servidor puede usar para determinar la siguiente acción a tomar.

### 4.3.2 CODIFICACION DE LOS DATOS

El protocolo Modbus usa la representación “Big-Endian” para las direcciones y los ítems de datos. Esto permite que cuando una cantidad numérica más grande que un simple byte es transferida, el byte más significativo es enviado primero. Así por ejemplo:

<b>Tamaño del registro</b>	<b>Valor</b>	<b>1er Byte enviando</b>	<b>2do Byte enviado</b>
16 – Bits	0x1234	0x12	0x24

### 4.3.3 MODELO DE DATOS MODBUS

El protocolo Modbus basa su modelo de datos en una serie de tablas que tienen características distinguidas. Las cuatro tablas primarias se muestran en la Tabla 1.

Las distinciones entre entradas y salidas, y entre ítems de datos direccionados por bit y direccionados por palabra, no implican cualquier comportamiento de la aplicación.

Para cada una de las tablas primarias, el protocolo permite una selección individual de 65536 ítems de datos, y las operaciones de lectura o escritura de esos ítems son diseñados para permitir múltiples ítems de datos consecutivos hasta alcanzar un tamaño límite el cual depende de la transacción del código de función.

Es obvio que todos los datos manejados vía Modbus (bits, registros) deberán ser localizados en la memoria de aplicación del dispositivo.

Tabla 4.1: Tabla primaria Modbus.

<b>Tabla Primaria</b>	<b>Tipo de Objeto</b>	<b>Tipo de Acceso</b>	<b>Comentarios</b>
Entradas discretas	Simple bit	Lectura solamente	Este tipo de dato puede ser proporcionado por un sistema I / O
Bobinas	Simple bit	Lectura y Escritura	Este tipo de dato puede ser alterable por un programa de aplicación
Registros de entradas	Palabra de 16 bits	Lectura solamente	Este tipo de dato puede ser proporcionado por un sistema I / O
Registros internos	Palabra de 16 bits	Lectura y Escritura	Este tipo de dato puede ser alterable por un programa de aplicación

#### 4.4 CATEGORIAS DE CODIGO DE FUNCION

Hay 3 categorías de códigos de función Modbus. Estos son:

##### 4.4.1 CODIGOS DE FUNCION PUBLICA

Sus características son:

Son códigos de función bien definidas.

Son códigos únicos.

Están validados por la comunidad modbus.org.

##### 4.4.2 CODIGOS DE FUNCION DEFINIDOS POR EL USUARIO

Sus características son:

Hay 2 rangos establecidos de códigos de función definidos por el usuario: desde el 62 hasta el 72 y desde el 100 hasta el 110 (decimal).

El usuario puede seleccionar e implementar un código de función sin tener una aprobación de modbus.org.

##### 4.4.3 CODIGOS DE FUNCION RESERVADA

Sus características son:

Es el código de función actualmente empleado por algunas compañías para legalizar sus productos y los cuales no están disponibles para uso público.

## 4.5 DESCRIPCION DE LOS CODIGOS DE FUNCION

### 4.5.1 LECTURA DE BOBINAS 01 ( 0x01 )

Este código de función es usado para leer desde 1 hasta 2000 estados contiguos de bobinas en un dispositivo remoto. El requerimiento PDU especifica la dirección de inicio, la dirección de la primera bobina, y el número de bobinas. Las bobinas son direccionadas empezando desde 0. Por lo tanto las bobinas 1 al 16 son direccionadas como 0 al 15.

#### Requerimiento PDU

Código de función	1 Byte	<b>0x01</b>
Dirección de inicio	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Cantidad de bobinas	2 Bytes	1 a 2000 ( 0x7D0 )

#### Respuesta PDU

Código de función	1 Byte	<b>0x01</b>
Contador de Bytes	1 Byte	<b>N</b>
Estado de bobinas	N Bytes	<b>n = N o N + 1</b>

En el cuadro anterior tenemos que:

$N = \text{Cantidad de salidas} / 8$  ; si el remanente es diferente de 0 , entonces:  $N = N + 1$

#### Error

Código de Error	1 Byte	<b>Código de función + 0x80</b>
Código de ejecución	1 Byte	<b>01 o 02 o 03 o 04</b>

### 4.5.2 LECTURA DE ENTRADAS DISCRETAS 02 ( 0x02 )

Este código de función es usado para leer desde 1 hasta 2000 estados contiguos de entradas discretas en un dispositivo remoto. El requerimiento PDU especifica la dirección de inicio, la dirección de la primera entrada discreta, y el número de entradas. Las entradas discretas son direccionadas empezando desde 0. Por lo tanto las entradas 1 al 16 son direccionadas como 0 al 15.

## Requerimiento PDU

Código de función	1 Byte	<b>0x02</b>
Dirección de inicio	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Cantidad de bobinas	2 Bytes	1 a 2000 ( 0x7D0 )

## Respuesta PDU

Código de función	1 Byte	<b>0x02</b>
Contador de Bytes	1 Byte	N
Estado de Entradas	N x 1Byte	

En el cuadro anterior tenemos que:

$N = \text{Cantidad de salidas} / 8$  ; si el remanente es diferente de 0 , entonces:  $N = N + 1$

## Error

Código de Error	1 Byte	<b>0x82</b>
Código de ejecución	1 Byte	01 o 02 o 03 o 04

**4.5.3 LECTURA DE REGISTROS DE RETENCION 03 ( 0x 03 )**

Este código de función es usado para leer el contenido de bloques contiguos de registros de retención en un dispositivo remoto. El requerimiento PDU especifica la dirección de inicio y el número de registros. Los registros son direccionados empezando desde 0. Por lo tanto los registros 1 al 16 son direccionados como 0 al 15.

## Requerimiento PDU

Código de función	1 Byte	<b>0x03</b>
Dirección de inicio	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Cantidad de registros	2 Bytes	1 a 125 ( 0x7D )

## Respuesta

Código de función	1 Byte	<b>0x03</b>
-------------------	--------	-------------

Contador de Bytes	1 Byte	<b>2 x N</b>
Valor del registro	N x 2 Byte	

En el cuadro anterior tenemos que:

N = Cantidad de registros.

Error

Código de Error	1 Byte	<b>0x83</b>
Código de ejecución	1 Byte	01 o 02 o 03 o 04

#### 4.5.4 LECTURA DE REGISTROS DE ENTRADAS 04 ( 0x 04 )

Este código de función es usado para leer desde 1 hasta 25 registros de entradas contiguos en un dispositivo remoto. El requerimiento PDU especifica la dirección de inicio del registro y el número de registros. Los registros son direccionados empezando desde 0. Por lo tanto los registros 1 al 16 son direccionados como 0 al 15.

Requerimiento PDU

Código de función	1 Byte	<b>0x04</b>
Dirección de inicio	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Cantidad de registros de entrada	2 Bytes	0x0001 a 0x007D

Respuesta

Código de función	1 Byte	<b>0x04</b>
Contador de Bytes	1 Byte	<b>2 x N</b>
Valor del registro	N x 2 Byte	

En el cuadro anterior tenemos que:

N = Cantidad de registros de entrada.



## Error

Código de Error	1 Byte	<b>0x84</b>
Código de ejecución	1 Byte	01 o 02 o 03 o 04

**4.5.5 ESCRITURA DE BOBINAS SIMPLES 05 ( 0x 05 )**

Este código de función es usado para escribir a una salida simple un valor ON o OFF en un dispositivo remoto.

El requerimiento PDU especifica la dirección de la bobina a ser forzada. Las bobinas son direccionadas comenzado desde 0. Por lo tanto, la bobina 1 es direccionada como 0.

## Requerimiento PDU

Código de función	1 Byte	<b>0x05</b>
Dirección de la salida	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Valor de la salida	2 Bytes	0x0000 a 0xFF00

## Respuesta

Código de función	1 Byte	<b>0x05</b>
Dirección de la salida	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Valor de la salida	2 Bytes	0x0000 a 0xFF00

## Error

Código de Error	1 Byte	<b>0x85</b>
Código de ejecución	1 Byte	01 o 02 o 03 o 04

**4.5.6 ESCRITURA DE UN REGISTRO 06 ( 0x 06 )**

Este código de función es usado para escribir un simple registro holding en un dispositivo remoto.

El requerimiento PDU especifica la dirección del registro a ser escrito. Los registros son direccionados comenzado desde 0. Por lo tanto, el registro 1 es direccionado como 0.

## Requerimiento PDU

Código de función	1 Byte	<b>0x06</b>
Dirección del registro	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Valor en el registro	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF

## Respuesta

Código de función	1 Byte	<b>0x06</b>
Dirección del registro	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Valor en el registro	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF

## Error

Código de Error	1 Byte	<b>0x86</b>
Código de ejecución	1 Byte	01 o 02 o 03 o 04

**4.5.7 ESCRITURA DE MULTIPLES BOBINAS 15 ( 0x 0F )**

Este código de función es usado para forzar cada bobina en una secuencia de bobinas ya sea ON u OFF en un dispositivo remoto.

El requerimiento PDU especifica la dirección de la bobina a ser forzada. Las bobinas son direccionadas comenzado desde 0. Por lo tanto, la bobina 1 es direccionada como 0.

## Requerimiento PDU:

Código de función	1 Byte	<b>0x0F</b>
Dirección de inicio	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Cantidad de salidas	2 Bytes	0x0001 a 0x07B0
Contador de Bytes	1 Byte	N
Valor en la salida	N x 1 Byte	

## Respuesta PDU:

Código de función	1 Byte	<b>0x0F</b>
Dirección del registro	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Cantidad en el registro	2 Bytes	0x0001 a 0x07B0

Error:

Código de Error	1 Byte	<b>0x8F</b>
Código de ejecución	1 Byte	01 o 02 o 03 o 04

#### 4.5.8 ESCRITURA DE MULTIPLES REGISTROS 16 ( 0x 10 )

Este código de función es usado para escribir a un bloque de registros contiguos (1 hasta aproximadamente 120 registros ) en un dispositivo remoto.

Los valores a escribirse están especificados en el campo de datos del requerimiento. El dato esta empaquetado en dos Bytes por registro.

Requerimiento PDU:

Código de función	1 Byte	<b>0x10</b>
Dirección de inicio	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Cantidad de registros	2 Bytes	0x0001 a 0x078
Contador de Bytes	1 Byte	2 x N
Valor en el registro	N x 2 Bytes	Value

En el cuadro anterior tenemos que:

N = Cantidad de registros.

Respuesta PDU:

Código de función	1 Byte	<b>0x10</b>
Dirección del registro	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Cantidad de registros	2 Bytes	1 a 123 ( 0x7B )

Error:

Código de Error	1 Byte	<b>0x90</b>
Código de ejecución	1 Byte	01 o 02 o 03 o 04

#### 4.5.9 LECTURA DE ARCHIVOS RECORD 20 ( 0x14 )

Este código de función es usada para efectuar una lectura de archivos record. Todas las longitudes de los datos del requerimiento están dadas en ítems de número de Bytes y todas las longitudes record del requerimiento están dadas en ítems de registros.

Un archivo es una organización de registros. Cada archivo contiene 10000 registros, direccionados desde 0000 hasta 9999 en decimal. ( o desde 0x0000 hasta 0x270F en hexadecimal ). Por ejemplo el registro 12 es direccionado como 12.

Requerimiento PDU:

Código de función	1 Byte	<b>0x14</b>
Contador de Bytes	1 Byte	0x07 a 0xF5 Bytes
Tipo de referencia de sub – requer. x	1 Byte	06
Número de archivo de sub – requer. x	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Número de registro de sub – requer. x	2 Bytes	0x0000 a 0x270F
Longitud de registro de sub– requer. x	2 Bytes	N

Respuesta PDU:

Código de función	1 Byte	<b>0x14</b>
Longitud de datos de la respuesta	1 Byte	0x07 a 0xF5
Long. de resp. del archivo de sub– requer. x	1 Byte	0x07 a 0xF5
Tipo de referencia de sub – requer. x	1 Byte	6
Dato del registro de sub– requer. x	N x 2 Bytes	

Error:

Código de Error	1 Byte	<b>0x90</b>
Código de ejecución	1 Byte	01 o 02 o 03 o 04

#### 4.5.10 ESCRITURA DE ARCHIVOS RECORD 21 ( 0x15 )

Este código de función es usada para efectuar una escritura de registros de archivos. Todas las longitudes de los datos del requerimiento están dadas en ítems de número de

Bytes y todas las longitudes de los registros del requerimiento están dadas en ítems de números de palabras de 16 bits.

Un archivo es una organización de registros. Cada archivo contiene 10000 registros, direccionados desde 0000 hasta 9999 en decimal. ( o desde 0x0000 hasta 0x270F en hexadecimal ). Por ejemplo el registro 12 es direccionado como 12.

Requerimiento PDU:

Código de función	1 Byte	<b>0x15</b>
Longitud del dato del requerimiento	1 Byte	0x07 a 0xF5
Tipo de referencia de sub – requer. x	1 Byte	06
Número de archivo de sub – requer. x	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Número de registro de sub – requer. x	2 Bytes	0x0000 a 0x270F
Longitud de registro de sub– requer. x	2 Bytes	N
Dato de registro de sub– requer. x	N x 2 Bytes	

Respuesta PDU:

Código de función	1 Byte	<b>0x15</b>
Longitud del dato del requerimiento	1 Byte	
Tipo de referencia de sub – requer. x	1 Byte	06
Número de archivo de sub – requer. x	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Número de registro de sub – requer. x	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF
Longitud de registro de sub– requer. x	2 Bytes	0x0000 a 0xFFFF N
Dato de registro de sub– requer. x	N x 2 Bytes	

Error:

Código de Error	1 Byte	<b>0x95</b>
Código de ejecución	1 Byte	01 o 02 o 03 o 04

## 4.6 CARACTERÍSTICAS DEL PROTOCOLO MODBUS RTU

### 4.6.1 FORMATO O FRAME DE LOS MENSAJES

Para poder comunicarse entre dos dispositivos se tiene que tener el mensaje en una envoltura. La envoltura deja el transmisor a través de una «puerta» y se transporta a lo largo de la línea hasta una puerta análoga en el receptor. MODBUS establece el formato de esta envoltura que, tanto para el maestro como para el esclavo, contiene:

- La dirección del esclavo con la cual el maestro ha establecido la transacción (la dirección 0 corresponde a un mensaje broadcast enviado a todos los dispositivos esclavos).
- El código de la función que tiene que ejecutarse o que se ha ejecutado.
- Los datos que tienen que cambiarse.
- El control de errores compuesto según el algoritmo CRC16.

Si un esclavo individualiza un error en el mensaje recibido (de formato, de paridad o en el CRC16) el mensaje se considera no válido y se descarta, del mismo modo que se descarta cuando un esclavo localiza un error en el mensaje y no ejecuta la acción sin responder a la pregunta, y también se descarta el mensaje si la dirección no corresponde a un esclavo en línea.

### 4.6.2 DIRECCIÓN

Como se ha mencionado anteriormente, las transacciones MODBUS implican siempre al maestro, que administra la línea, y un esclavo cada vez (excepto en el caso de mensajes broadcast). Para identificar el destinatario del mensaje se transmite como primer carácter un byte que contiene la dirección numérica del esclavo seleccionado. Cada uno de los esclavos tiene pues asignado un número de dirección distinto que lo identifica unívocamente. Las direcciones legales son aquellas que se sitúan entre 1 y 247, mientras que la dirección 0, que no se puede asignar a un esclavo, puesta en cabeza del mensaje transmitido por el maestro indica que este es “broadcast”, o sea directo a todos los esclavos al mismo tiempo. Solamente se pueden transmitir como broadcast mensajes que no requieran respuesta para acabar su función, o sea solamente las asignaciones.

### **4.6.3 ESTACION MAESTRA**

Un dispositivo modbus RTU master envía periódicamente mensajes o peticiones a uno o más dispositivos esclavos sobre una red serial. Estas peticiones pueden contener datos, preguntas para datos o estatus, o comandos.

### **4.6.4 ESTACION ESCLAVA**

Cada esclavo sobre la red tiene una única dirección de dispositivo. Cualquier petición puede ser direccionada ya sea a una única dirección de dispositivo esclavo o a una dirección broadcast. Las peticiones direccionadas a la dirección broadcast son llamadas peticiones de broadcast. Las peticiones que requieren una respuesta no pueden ser direccionadas a la dirección broadcast.

Los esclavos no responden a peticiones broadcast. Después de enviar una petición broadcast, el master RTU debería primero esperar un tiempo específico antes de completar la transacción y enviar la siguiente petición.

Algunas peticiones broadcast contiene comandos que requieren los esclavos para tomar una acción específica.

### **4.6.5 TIEMPO MUERTO**

Un paquete es completo o interrumpido cuando no se recibe datos por un periodo de 3.5 veces el tiempo de transmisión de byte (alrededor de 15 ms a 2400 baudios, 2 ms a 19200 baudios, etc). Consecuentemente, el dispositivo de transmisión no debería tener espacios entre bytes más largos que este tiempo. Una vez que el tiempo muerto ha espirado sin un nuevo byte de transmisión, todos los dispositivos esclavos, excepto el dispositivo esclavo direccionado, están listos para escuchar una petición de un nuevo paquete a transmitir por parte del dispositivo maestro.

### **4.6.6 VELOCIDAD DE COMUNICACION**

Indica cuantos bits por segundo pueden ser transmitidos entre el transmisor y receptor. Todos los elementos en la red deberían operar a la misma velocidad. La velocidad máxima es limitada por el tipo de interfase y el medio de transmisión usado.

En el protocolo Modbus las velocidades permitidas o disponibles son: 300, 1200, 2400, 4800, 9600, y 19200 baudios.

#### 4.6.7 ALGORITMO CRC-16

Los últimos dos caracteres del mensaje contienen el código de redundancia cíclica (Cyclic Redundancy Check) calculado según el algoritmo CRC16. Para el cálculo de estos dos caracteres el mensaje (dirección, código función y datos descartando los bits de start, stop y la paridad eventual) se considera como un único número binario continuo del cual el bit más significativo (MSB) se transmite primero. En primer lugar se multiplica el mensaje por  $x^{16}$  (trasladado a la izquierda de 16 bits) y luego dividido por  $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$  expresado como número binario (1100000000000101). El cociente entero se descarta y el resto para 16 bits (inicializado a FFFFh al inicio para evitar el caso de un mensaje solamente de ceros) se adjunta a continuación del mensaje transmitido. El mensaje resultante, cuando el esclavo receptor lo ha dividido por el mismo polinomio ( $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$ ) debe dar cero como resultado si no ha habido errores (el esclavo recalcula el CRC). De hecho, dado que el dispositivo que transmite en serie los datos (UART) transmite primero el bit menos significativo (LSB) y no el MSB como debería ser para el cálculo del CRC, esto se efectúa invirtiendo el polinomio.

### 4.7 EQUIPOS QUE INCORPORAN ESTE PROTOCOLO

#### 4.7.1 RELAYS MULTILIN DE GENERAL ELECTRIC

Características:

- Incorpora protocolos de comunicación: RTU Modbus y DNP.
- Opera con voltaje de alimentación de 120 / 220 Vac o 120 Vdc, y es recomendable emplear una tierra digital.
- Ofrecen protección contra parámetros eléctricos como: corrientes de fase, corrientes neutrales, corrientes de tierra, voltajes, frecuencia, factor de potencia; y parámetros de control como: autoreclose, sincronismo, etc.
- Emplea para su configuración un software en entorno windows de General Electric, dependiendo de la familia de relays.
- Puede ser configurado serialmente o vía red.
- Su proveedor es General Electric.

#### 4.7.2 BALANZAS RAMSEY

Características:



- Incorpora protocolos de comunicación: RTU Modbus, Allen Bradley y PC-Master.
- Opera con voltaje de alimentación de 120 Vac.
- Es del tipo de balanza para faja transportadora.
- Su sistema de medición es a base de un tren de pesaje y una celda de carga tipo S.
- Puede ser montado en panel o en campo (nema 4X).
- Incorpora totalizadores parciales y totales (master), el cual no puede ser modificado por el usuario.
- Incorpora sistemas de calibración por cadena, pesas y por material.
- Puede ser configurado vía teclado del panel frontal o vía software propietario de Ramsey.
- Su proveedor es Ramsey Technology.

#### **4.7.3 PLC D32LT CUTLER HAMMER**

Características:

- Incorpora protocolos de comunicación: RTU Modbus y el protocolo propietario de Cutler-Hammer.
- Opera con voltaje de alimentación de 120 / 220 Vac y es recomendable emplear una tierra digital.
- Es un PLC del tipo modular, en el cual sus partes se enlazan mediante un back plane.
- Emplea para su configuración y programación un software en entorno windows WinGpc.
- Su proveedor es Cutler-Hammer.

#### **4.7.4 CONVERTIDORES MODBUS / ETHERNET**

Características:

- Incorpora protocolos de comunicación: RTU Modbus y TCP Modbus.
- Opera con voltaje de alimentación de 24 Vdc.
- Emplea para su configuración un software en entorno Windows dependiendo del tipo de convertidor empleado.
- Su proveedor es Schneider Electric, General Electric, Intellicom.

#### **4.7.5 PLC TSX COMPACT DE MODICOM**

Características:

- Incorpora protocolos de comunicación: RTU Modbus, ASCII Modbus, Modbus Plus.
- Opera con voltaje de alimentación de 120 / 220 Vac y es recomendable emplear una tierra digital.
- Es un PLC del tipo modular, en el cual sus partes se enlazan mediante un back plane.
- Emplea para su configuración y programación el software en entorno windows Concept V 2.X.
- Su proveedor es Schneider Electric.

#### **4.8 COMUNICACIONES MULTIDROP EN REDES RTU MODBUS**

##### **4.8.1 CONEXION DE 4 HILOS (4 – WIRES)**

En esta configuración de red, el par de pines de envío de datos (SD) del dispositivo master RTU se conecta al par de pines de recepción de datos (RD) de todos los dispositivos esclavos, y el par de pines SD de todos los dispositivos esclavos son conectados al par de pines RD del master. Todos los dispositivos esclavos deberían usar un puerto serial RS-485 compatible de modo que sus transmisores son deshabilitados excepto cuando están transmitiendo. Algunos dispositivos que manejan puerto serial RS-422 deshabilitan sus salidas cuando no están transmitiendo, sin embargo no es requerido por este puerto. El dispositivo master podría emplear ya sea el puerto RS-485 o el puerto RS-422 debido a que estos puertos requieren un solo transmisor sobre el par. Los puertos seriales sobre todos los dispositivos deberían ser configurados para Control de flujo “None”.

Un diagrama típico de este tipo de comunicación se muestra en la figura 4.4.

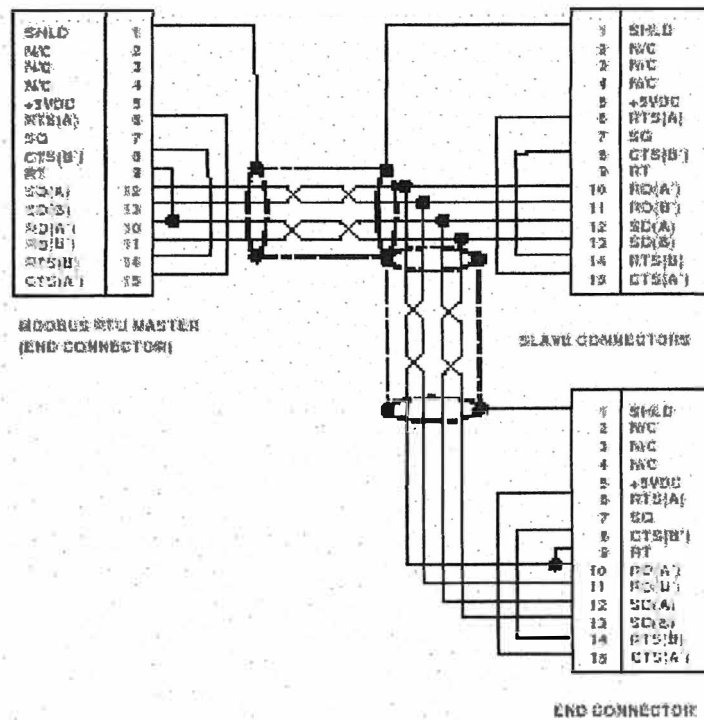


Figura 4.4: Esquema típico de comunicación de 4 hilos.

#### 4.8.2 CONEXION DE 2 HILOS (2 – WIRES)

Debido a que un único dispositivo puede transmitir datos a la vez, las redes que soportan Modbus RTU emplean justo un par de datos para realizar ello.

La operación de 2 hilos ofrece dos ventajas:

- Costo del cable es mas barato.
- No hay un dispositivo master dedicado.

Cualquier dispositivo que forme parte de una red de 2 hilos puede ser configurado como master.

Sobre una red de 2 hilos, los pines de transmisión de datos (SD) y de recepción de datos (RD), de todos los dispositivos son conectados en paralelo a un simple a un par de alambres. Ambas terminaciones del par deben terminar en un resistor de 120 ohm. Todos los dispositivos deben ser compatibles con RS 485, y todos los transmisores deben desactivar sus receptores cuando están transmitiendo.

Cualquier cable par trenzado apantallado de alta calidad con dos pares es posible para realizar esta aplicación multidrop (hasta 15 metros). Distancias grandes requieren un cable

con una impedancia nominal de 120 ohm. Generalmente un cable empleado para la transmisión RS485 es el cable belden 3105A o equivalente.

Los puertos seriales sobre todos los dispositivos deberían ser configurados para Control de flujo "None".

#### **4.8.3 CONEXION PUNTO A PUNTO**

Cuando la red tiene solamente un dispositivo esclavo, se emplea una conexión punto a punto entre el dispositivo master y el esclavo. El cable de conexión puede ser entre el RS 232 o el RS 485.

Los puertos seriales en ambos dispositivos deberán ser configurados para flujo de control "NONE".

## **CAPITULO V**

### **SECUENCIA DE IMPLEMENTACION**

#### **5.1 INTRODUCCION**

Debido al alto costo que demanda automatizar completamente la planta y a la no disponibilidad de equipos, por estar estos en constante producción, se ha optado por automatizar secuencialmente tanto los molinos de bolas como de barras, y a la vez que se da tiempo para que el personal de operaciones se adapte a esta nueva tecnología.

#### **5.2 PARAMETROS DE CONTROL Y MONITOREO**

Dentro de los parámetros de control y monitoreo de cada de las 8 líneas tenemos:

Parámetros Físicos (molino de bolas):

Presión de entrada / salida de aceite del tanque de aceite.

Temperatura de entrada / salida de aceite del tanque de aceite.

Flujo de entrada / salida de aceite desde y /o hacia el tanque de aceite y el babbitt del trunnion.

Temperatura del motor (bearing y estator).

Velocidad en RPM de la bomba de refrigeración de aceite.

Temperatura del aceite de refrigeración del reductor.

Presión de aceite de refrigeración del reductor.

Presión de aire de hidrógeno de las gatas.

Parámetros Físicos (molino de barras):

Temperatura del motor (bearing y estator).

Presión de aire de nitrógeno de las gatas.

Presión de entrada / salida de aceite del tanque de aceite.

Rate de tonelaje de carga en la entrada del molino

Parámetros eléctricos ( molinos de bolas y barras):

Estado de la válvula de aire de enclavamiento o encrochet del motor.

Estado de motor energizado y motor en corto circuito.

Corrientes del motor síncrono (AC y DC).

Factor de potencia del motor.

Consumo de energía del motor.

Velocidad de alimentación de la faja alimentadora de carga al molino de barras.

Numero de horas de motor trabajando.

Corriente de carga de la faja alimentadora de carga al molino de barras.

Estado operativo de las celda de flotación.

Estado operativo de los separadores magnéticos.

Reportes de consumo de energía:

Reporte del consumo de energía parcial y acumulada.

Reporte del consumo de energía vs tonelaje producido.

Reporte de la carga ( corriente de carga) de los molinos.

### **5.3 NUMERO DE ELEMENTOS DE LA RED**

Como se podrá observar en las gráficas anteriores, tenemos 8 líneas o sub redes de Modbus RTU de 6 elementos por cada línea. Todos ellos son enlazados vía ethernet formando así un lazo en ethernet de 48 nodos o elementos.

### **5.4 INSTALACION DE LA ETAPA DE FUERZA**

En esta etapa se deberá tener cuidado con el marcado correcto de los cables que van al campo para no tener confusiones al momento de la conectorización. También se deberá tener cuidado con la secuencia de las líneas y en la colocación de puestas de tierra eléctrica. Generalmente estas tierras eléctricas van unidas a la tierra general de todas las plantas para así formar un solo punto caliente, el cual mediante una plancha va al mar.

La distribución final, entubado y gabinetes de la etapa de fuerza se observa en la figura 5.1.

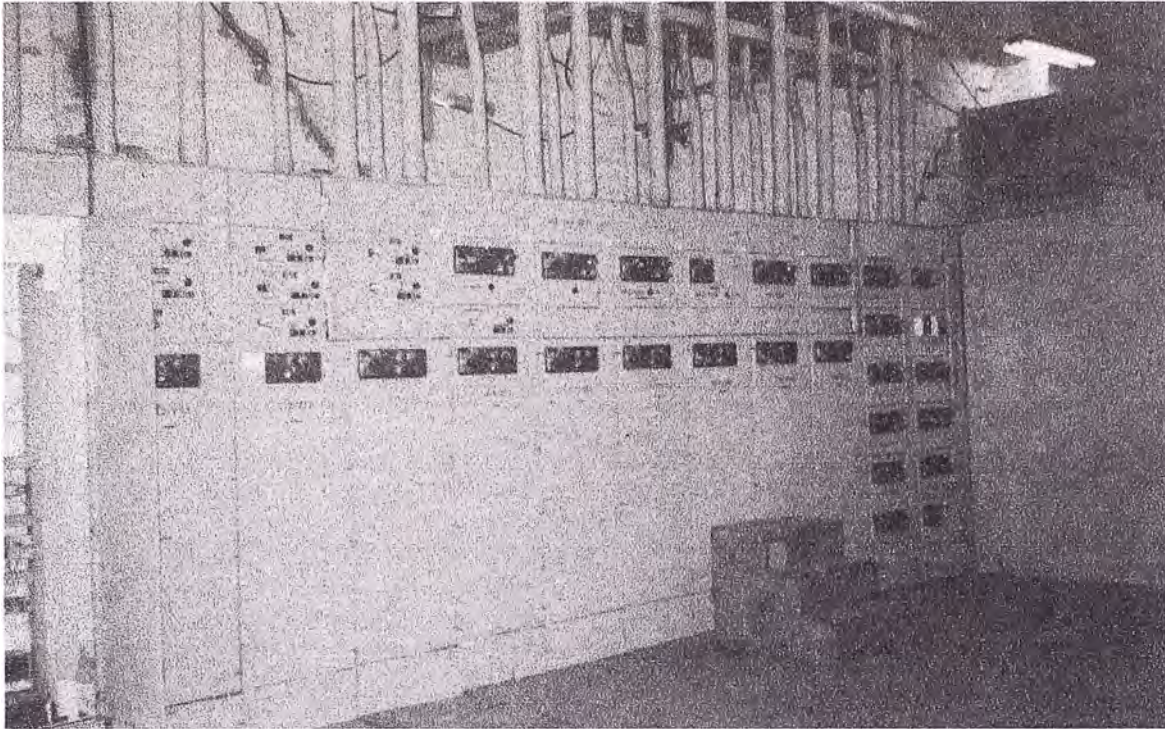


Figura 5.1: Instalación de la etapa de fuerza.

### **5.5 MONTAJE Y CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN**

Los Relays Multilin son el principal cerebro de la protección eléctrica de toda esta planta. De ellos depende el proteger a los motores principales de toda esta línea a automatizar.

La configuración de estos relays se realiza ya sea manualmente (a través de su teclado frontal), o vía PC a través de sus puertos RS232 y/o RS485 empleando para este caso su software de programación respectivo.

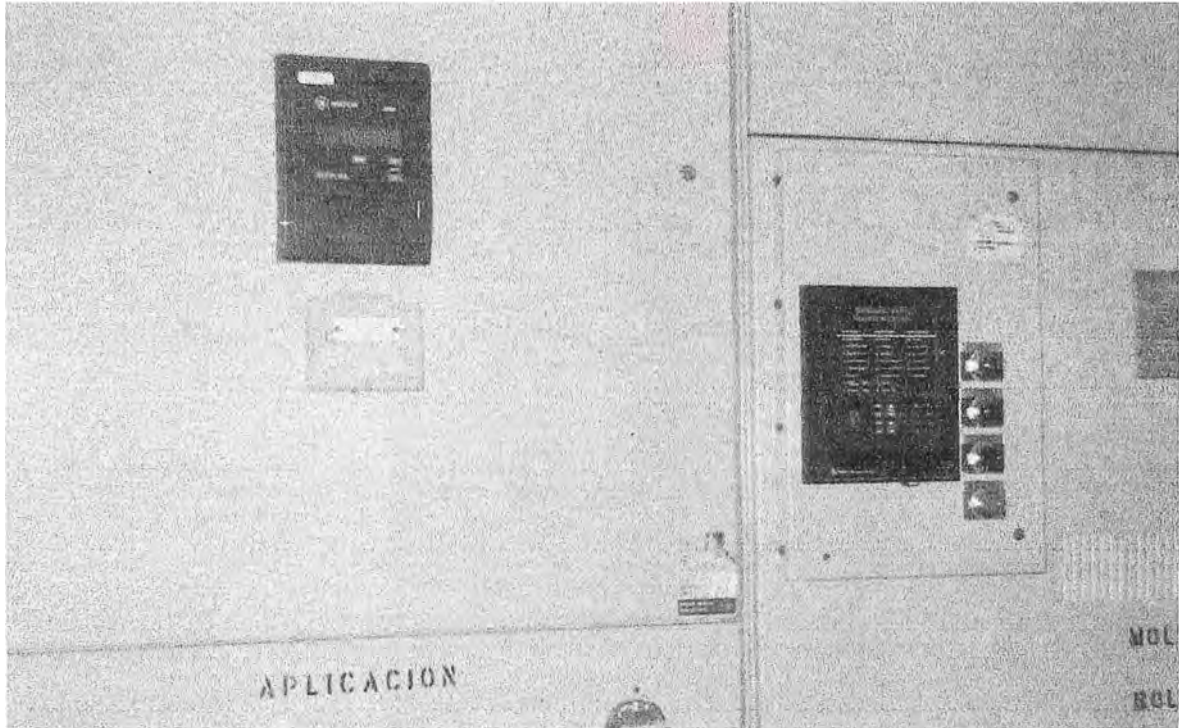


Figura 5.2: Relays Multilin del sistema de protección.

## **5.6 INSTALACION DE LA ETAPA DE CONTROL**

### **5.6.1 MONTAJE DEL PLC**

Para el montaje del PLC se deberá tener en cuenta que este no deberá estar expuesto a la intemperie, es decir, debe de estar ubicado dentro de un gabinete especialmente diseñado para tal propósito, tal y como se observa en la figura 5.3. También se deberá tener mucho cuidado de aislar eléctricamente este panel.

Así mismo se recomienda el uso de borneras y canaletas plásticas de pvc para la distribución de los cables y evitar el enredo de los mismos.



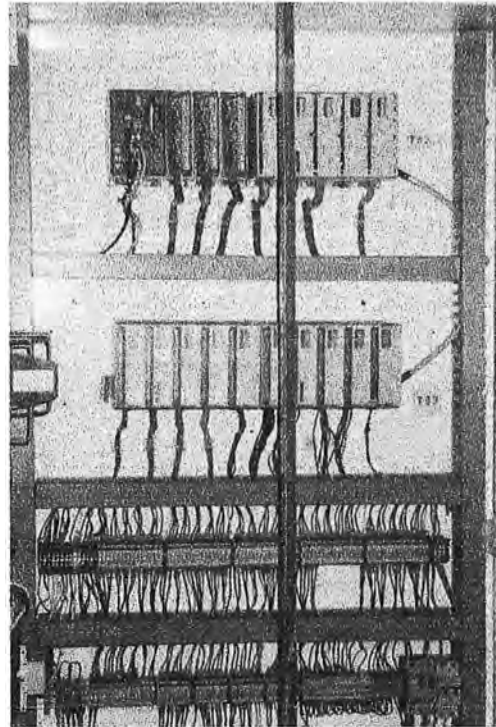


Figura 5.3: Tablero del PLC.

### 5.6.2 MONTAJE DE SENSORES Y TRANSMISORES

Estos sensores y transmisores deberán ser montados en una zona libre de polvo, humedad y de mucha vibración, puesto que este ambiente de operación puede alterar o dañar estos elementos. Por lo general estos equipos están alimentados por un voltaje estándar de 24 VDC.

Necesariamente para el montaje de estos elementos la planta tendría que parar el tiempo necesario para hacer el montaje y el cableado respectivo.

### 5.6.3 MONTAJE DE INDICADORES DIGITALES

El montaje de los indicadores digitales se puede realizar independientemente si la línea esta operando o parada. Estos indicadores van montados dentro de un gabinete que es soldado a una parte fija de las vigas adyacentes a dicha línea con la finalidad de tener un mejor control de la misma por parte de los operadores de campo. Esta disposición se observa en la figura 5.4.

Estos indicadores deberán energizarse con un voltaje alterno de 110 VAC estabilizado, puesto que las variaciones bruscas de voltaje pueden alterar las lecturas digitales de estos e inclusive llegar a dañarlos.

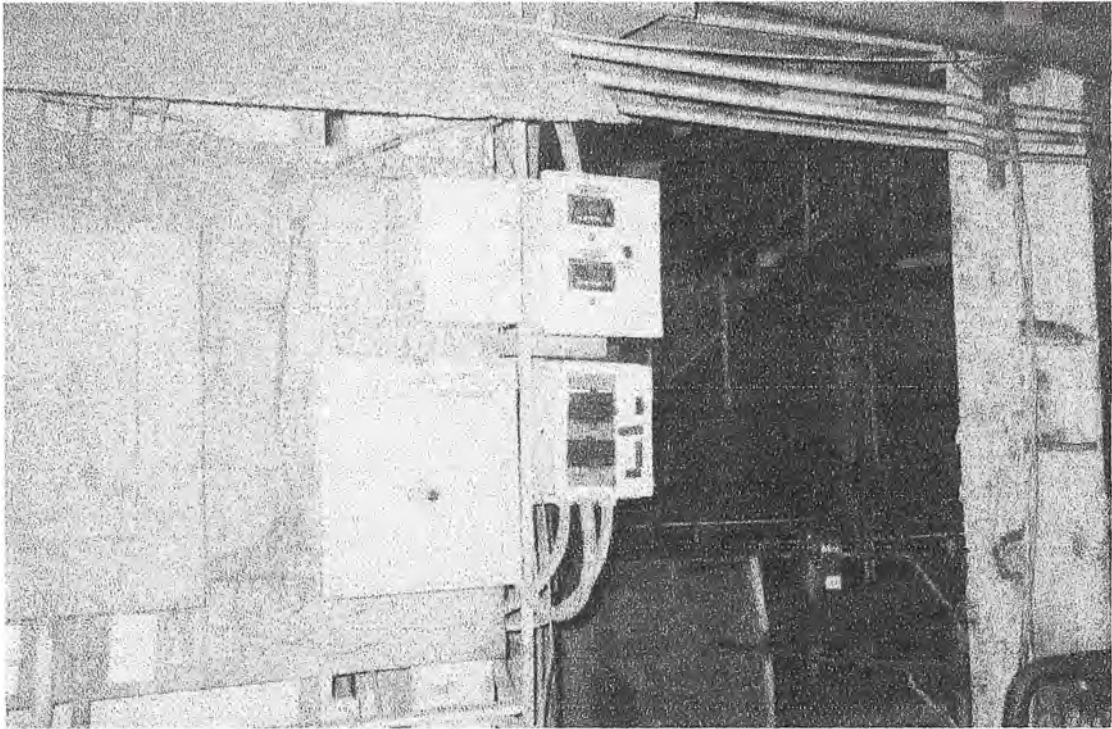


Figura 5.4: Montaje de indicadores digitales.

### **5.7 INSTALACION DE VARIADOR DE VELOCIDAD AC**

Al igual que los PLCs, los variadores de velocidad de corriente alterna también deberán ser montados dentro de un gabinete especialmente ventilado para extraer el calor que emanan estos equipos debido al consumo de energía que estos tienen.

En la figura 5.5 se aprecia el montaje de un variador de velocidad.



Figura 5.5: Montaje de un variador de velocidad.

## **5.8 DESARROLLO DEL SISTEMA SCADA**

### **5.8.1 ELECCION DEL TIPO DE CONTROL A REALIZAR**

Por lo general hay dos clases de control que se emplean en este tipo de sistemas. El primero, es donde el PLC trabaja en forma autónoma y toma el control total del sistema, es decir, gobierna todos los lazos de control que la conforman.

El segundo, es donde el PLC actúa como un control de arranque remoto, es decir no trabaja autónomamente. En nuestro caso, se emplea este último por ser el que más se adapta a nuestro complejo. Gran parte de esta decisión se basa en que los equipos con que contamos son de tecnología antigua y a la poca familiaridad de los operadores con las nuevas tecnologías.

La finalidad de este proyecto es ir familiarizando a los operadores con esta nueva tecnología y llegar a la completa autonomía con PLCs.

### **5.8.2 ELECCION DEL MODO DE PRESENTACIÓN Y VISUALIZACION**

El modo de presentación elegido es a través de ventanas las cuales son seleccionadas a través de una ventana principal. También se ha incluido gráficos y alarmas con la finalidad de tener un control predictivo de las líneas a controlar.

### **5.8.3 CONFIGURACION DEL PROTOCOLO DE COMUNICACION**

Como sabemos el protocolo que emplearemos es el Modbus Rtu. Este protocolo debe ser seleccionado instalando para ello el Driver Modbus que viene dentro del Scada Intouch. También dentro del Scada Intouch se deberá seleccionar el Protocolo Modbus como el protocolo de la aplicación realizada.

### **5.8.4 CONFIGURACION DEL PUERTO DE COMUNICACION SERIAL**

Cuando se instala el Driver Modbus de Intouch también se deberá elegir el puerto y los parámetros de comunicación y estos deberán ser exactamente iguales a los elegidos para el Plc. Esto garantiza una comunicación transparente y libre de errores.

Los parámetros de comunicación seleccionados son:

- Puerto de comunicación : COM 1.
- Velocidad de comunicación : 9600 bps.
- Bits de datos : 8.
- Bits de parada : 1.
- Bit de paridad : 1.

### **5.8.5 PRUEBAS DE ENLACE CON EL PLC**

La prueba mas precisa de que el enlace PLC – Scada esta trabajando correctamente es que cuando seleccionamos y activamos una aplicación ya desarrollada en el Intouch y abrimos el driver Modbus, en este aparecerán unas letras de color negro cuyos valores cambian constantemente ( registros y valores ).

Mientras estos valores se mantengan en color negro indica que esta operativo el sistema, pero si cambian a color rojo, ello indicara pérdida de comunicación, y por lo tanto pérdida del enlace PLC – Scada.

El panel de visualización donde esta desarrollado el sistema scada se muestra en la figura 5.6.



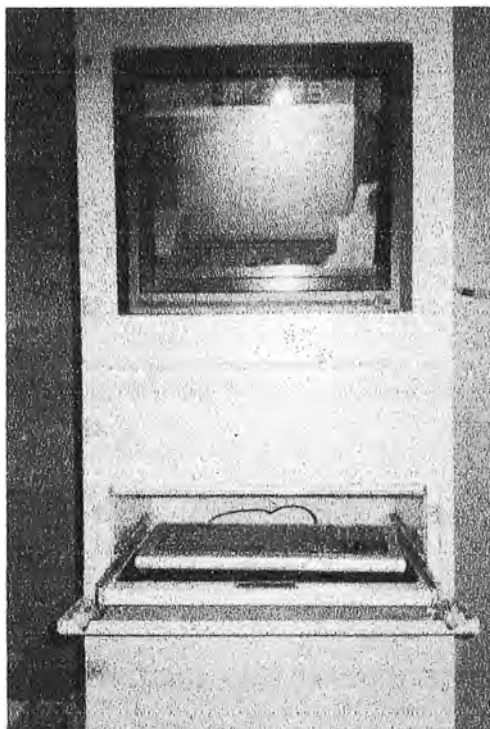


Figura 5.6: Panel de visualización.

### **5.9 SOFTWARE EMPLEADOS EN EL DESARROLLO**

Son en total 3 grupos de softwares empleados en el desarrollo de este proyecto:

- **Concept V 2.6:** es un software en entorno windows que nos permite configurar y programar Online / Offline los PLCs modular TSX Compat y momentun de Schneider. El protocolo de comunicación es propietario de Schneider.
- **Scada Intouch:** es un software de supervisión y adquisición de datos Intouch, el cual puede trabajar en modo Run time, Development o conjunto. En nuestro caso trabaja en modo conjunto y tiene capacidad de 512 tags o variables.
- **Software Multilin:** es un conjunto de softwares que nos permite configurar y monitorear Relays de protección y medicion Multilin de General Electric ( SPM, SR469, SR745, PQM, etc ).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. Es necesario tener una tierra digital de menos de 2 ohmios y estabilizadores sola ferro resonantes de 3 KVA para cada línea.
2. Es necesario tuberías PVC independientemente tanto para la parte de señal, la parte de control y la parte de fuerza.
3. Se deberá tener sumamente cuidado de aislar la tierra eléctrica como la tierra digital, ya que estos podrían causar fallas o daños a los distintos equipos electrónicos de la planta.
4. Se deberá tener un sistema de UPS para el PLC, sistema scada y para los relays multilin del sistema de protección, de tal manera que cuando haya corte de energía, estos aún tengan autonomía para poder realizar acciones tales como abrir o cerrar válvulas y solenoides que se tienen instalados.
5. Si bien es cierto la Red Industrial de Modbus RTU es muy lenta y limitada en cuanto a número de nodos a enlazar, esta se instalo debido a la infraestructura que se dispone actualmente en la empresa.

A futuro se recomienda emplear dispositivos de campo con protocolo DeviceNet o cualquier otro bus de campo, el cual permitirá además de enlazar estos dispositivos con menor cantidad de alambrado y más precisión de sus lecturas, su configuración y monitoreo remoto a través de la red industrial a instalarse.

6. Para enlazar estas redes al sistema de red Ethernet de la empresa o enlazarlas con otras plantas del complejo, no se recomienda el uso de tecnología inalámbrica, puesto que esta a dado malos resultados debido a la estática existente en todo el complejo.
7. Para un futuro se recomienda remplazar los PLCs por otros en el cual se pueda configurar y monitorear remotamente a través de la red y no como actualmente se hace localmente.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Protocolo de Internet RFC 791.
2. Guía de Referencia de protocolo Modbus, Rev J.
3. Principios de Sistemas Scada de Tecsup.
4. Redes Industriales de Tecsup.
5. Manual de programación de PLC TSX Compat E984 – 275.
6. Manual de programación de Intouch de Wonderware.
7. Manual de configuración de Relays Multilin de General Electric.