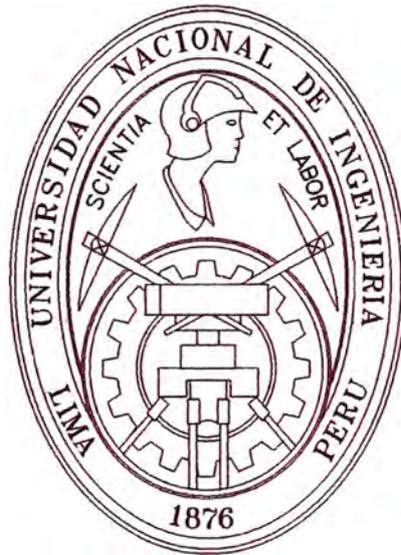


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“AUTOMATIZACIÓN DE UN MOLINO DE BOLAS 9 ½” X
14” DE 50 TONELADAS EN EL CIRCUITO DE
MOLIENDA EN LA COMPAÑÍA MINERA SANTA LUISA”**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECATRONICO**

JOSE AEDO QUIVIO

PROMOCION 2001-I

LIMA-PERU

2006

Prólogo

1 Introducción

2 Minería

2.1 Recursos y Reservas

2.2 Procesos Mineros

2.3 Principales Procesos Mineros

2.3.1 Chancado

2.3.2 Molienda

2.3.3 Flotación

3 Gerencia del proyecto

3.1 El Proyecto

3.1.1 Stakeholders

3.1.2 Grupos de Trabajo

3.2 Alcance del proyecto

3.2.1 Restricciones

3.2.2 Suposiciones

3.2.3 Entregables del proyecto

3.2.4 Objetivos

3.2.5 Verificación del Alcance

3.3 Gerencia de los Tiempos del Proyecto

3.4 Gerencia de la Calidad del Proyecto

3.5 Gerencia de las Comunicaciones del Proyecto

4 Evaluación Inicial del Sistema

4.1 Necesidad del Automatismo

4.2 Operación del Molino

4.2.1 Condiciones de Arranque del Molino

4.2.2 Zona de Carga del Molino

4.2.3 Zona de Descarga del Molino

4.2.4 Parada del Molino

4.3 Principales Problemas Operativos

4.4 Beneficios Esperados

5 Ingeniería Básica

5.1 Filosofía de Control

5.1.1 Control de Fajas

5.1.2 Control de Ingreso de Agua

5.1.3 Control de Relación Sólido / Líquido

5.1.4 Control de Nivel en Tanques de Descarga

5.1.5 Protección del Molino

5.2 Controlador Lógico Programable (PLC)

5.3 Tablero de Control de PLC

5.4 Tablero de Control de Variadores

5.4.1 Tablero de Fajas

5.4.2 Tablero de Bombas

5.5 Diseño de Reportes

5.5.1 Reportes de Producción

5.5.2 Reportes de Horas de Operación

6 Implementación del Sistema

6.1 Programa de Control

6.2 Desarrollo de Planos

6.2.1 Formato de Tamaño de Planos

6.2.2 Codificación de Planos

6.3 Comisionamiento de Señales en Vacío

6.3.1 Comisionamiento de Entradas Digitales

6.3.2 Comisionamiento de Salidas Digitales

6.3.3 Comisionamiento de Señales Analógicas

6.4 Red Industrial

6.5 Sistema de Supervisión

6.5.1 Pantalla de Control de Fajas

6.5.2 Pantalla Molino

6.5.3 Sub Pantallas

6.6 Base de Datos

6.6.1 Listado de Tarjetas

6.6.2 Listado de Entradas y Salidas

6.6.3 Escalamiento de Señales y Alarmas

6.7 Puesta en Marcha

6.7.1 Comisionamiento de Tablero de Control

6.7.2 Arranque del Sistema en modo Eléctrico

6.7.3 Arranque en Modo PLC – Manual

6.7.4 Arranque en Modo PLC - Automático

7 Evaluación Económica

7.1 Costos del Proyecto

7.2 Beneficios Obtenidos

Conclusiones

Referencias

Apéndice 1.- Cronograma del Proyecto

Apéndice 2.- Planos Eléctricos

Apéndice 3.- Diagramas de Aseguramiento de la Calidad

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Reservas Mineras en el Perú

Figura 2.2: Procesos Mineros

Figura 2.3: Planta de Chancado

Figura 2.4: Planta de Molienda

Figura 2.5: Planta de Flotación

Figura 3.1: Flujo de información del Proyecto

Figura 3.1: Entrada de mineral y Agua Hacia el Molino

Figura 3.2: Zona de Descarga del Molino

Figura 5.1: Diagrama de Control de Fajas

Figura 5.2: Diagrama de Control de Agua a la Entrada del Molino

Figura 5.3: Diagrama de Control en la Descarga del Molino

Figura 5.4: Diagrama de Control del Molino

Figura 5.5: Diagrama de Fuerza de Fajas

Figura 5.6: Instalación de Equipos en Gabinete de Fajas

Figura 5.7: Diagrama de Fuerza de Bombas

Figura 5.8: Instalación de Equipos en Gabinete de Bombas

Figura 5.9: Reportes de Consumo

Figura 5.10: Reportes de Horas de Operación

Figura 6.1: Estructura del Programa Ladder en el PLC

Figura 6.2: Comisionamiento de una Entrada Digital

Figura 6.3: Visualización de una Entrada Digital en PLC

Figura 6.4: Comisionamiento de Salida Digital

Figura 6.5: Visualización de Salida Digital

Figura 6.6: Estructura del Programa Ladder en el PLC

Figura 6.7: Estructura del Programa Ladder en el PLC

Figura 6.8: Pantalla de Control de fajas

Figura 6.9: Pantalla de Control y Supervisión del Molino

Figura 6.10: Pantalla de Control de Lazos

Figura 6.11: Estructura del Programa Ladder en el PLC

Figura 6.12: Pantalla de Históricos del Molino

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Áreas Involucradas

Tabla 3.2: Formatos de Documentación

Tabla 3.3: Documentación Interna

Tabla 3.4: Procedimientos Aplicados al Proyecto

Tabla 5.1: Relación Sólido / Líquido

Tabla 5.2: Características Técnicas del Procesador

Tabla 5.3: Disposición de Tarjetas en Chasis

Tabla 5.4: Consumo de Energía

Tabla 5.5: Datos de Placa Motor de Fajas

Tabla 5.6: Datos de Placa Motor de Bombas

Tabla 6.1: Tamaño de Planos

Tabla 6.2: Codificación de Planos

Tabla 6.3: Valores de Prueba

Tabla 6.4: Direcciones IP

Tabla 6.5: Leyenda de Direcciones de Compact Logix

Tabla 6.6: Resumen de Tarjetas en PLC

Tabla 6.7: Leyenda de Descripción de Entradas y Salidas

Tabla 6.8: Lista de E/S del Chasis de Tablero de molino

Tabla 6.9: Escalamiento de Señales

Tabla 6.10: Parámetros PID

Tabla 7.1: Costos del Proyecto

Tabla 7.2: Mineral Procesado por Día

Tabla 7.3: Datos de Motor de Bombas

Tabla 7.4: Ahorro Mensual de Energía Eléctrica

Tabla 7.5: Ahorro Mensual Total

Prologo

El presente informe está basado en la Automatización de un Molino de Bolas en el proceso de molienda, explicándose las ventajas técnico – económicas y los beneficios que reporta. El proyecto fue realizado en una mediana empresa minera polimetálica, dedicada principalmente a la producción de Plomo y Zinc.

El capítulo 1 comprende una breve introducción sobre la importancia que tiene la automatización en la industria. El capítulo 2, aborda su incidencia en la economía peruana y los principales procesos en el campo minero.

El gerenciamiento del proyecto es tratado en el capítulo 3, cuya metodología dá pautas para planificar y desarrollar proyectos de manera ordenada. El capítulo 4 explica las principales razones que decidieron automatizar el Molino; y, además, un análisis de los beneficios a obtenerse finalmente.

Todo proyecto empieza con la ingeniería básica, la que plasma las principales ideas que comprenden arquitecturas y especificaciones para el desarrollo del proyecto. En el capítulo 5 se detallan las partes mas importantes de la misma.

En el capítulo 6 se dan detalles de la implementación del proyecto, de las pruebas que se realizaron en talleres, así como las pruebas de campo, en vacío y con carga.

Los conceptos económicos se tratan en el capítulo 7, en el que se cuantifican los principales beneficios y el tiempo de retorno de la inversión.

Permítaseme expresar especial agradecimiento especial a mi familia, a mis padres y hermanos quienes me apoyaron y estimularon durante mi formación profesional. A la Universidad Nacional de Ingeniería y, particularmente, en especial a la Facultad de Ingeniería Mecánica, donde asimilé conceptos y metodologías que han de iluminar el camino hacia el perfeccionamiento de la tecnología en el Perú.

Capítulo 1

Introducción

En el mundo cada vez más competitivo de la industria minera se hace necesario buscar medios con los cuales se logre la máxima productividad con un mínimo costo. Para cumplir tal objetivo la aplicación de tecnologías de automatización en los procesos productivos de mina y planta juega un rol clave

Los principales procesos de una planta concentradora (chancado-molienda-flotación) son esencialmente multivariables y dinámicos. Las variables de proceso presentan fuertes interacciones, existiendo no linealidades y retardos. La principal entrada al proceso (el mineral) es a su vez la mayor perturbación debido a sus características físicas.

La Automatización es la implementación mediante dispositivos físicos (instrumentos de campo), códigos (programas) y máquinas de un conjunto de prácticas operacionales en las cuales se ha alcanzado un cierto nivel de sistematización y estructuración. La materialización de estas relaciones requiere de la disponibilidad de medios de comunicación rápidos, seguros y confiables para la captura de información (datos, imagen y sonido), su procesamiento y la generación de acciones. A esta estructura se le denomina "Sistema de Control".

La automatización es algo prácticamente imprescindible en el mundo de la industria actual, dado los niveles de productividad, fiabilidad y rentabilidad que han de cumplir los productos elaborados a fin de ser competitivos en el mercado.

Capítulo 2

Minería

La minería es uno de los sectores más importantes de la economía peruana y representa, normalmente, más del 50% de las exportaciones peruanas con cifras alrededor de los 4 mil millones de dólares al año. Por su propia naturaleza, la gran minería constituye un sector que genera grandes movimientos de capital, más no de mano de obra. La minería se ha vuelto tan importante, que desde el año 1993, el Perú ha duplicado su producción en este rubro. Los principales minerales que exporta nuestro país son: cobre, oro, hierro, plata, zinc y plomo entre otros. Actualmente todos ellos son fuertemente demandados como insumos para procesos industriales de alto nivel tecnológico.

2.1 Recursos y Reservas

Perú es un país con una inmensa riqueza geológica. A lo largo y ancho del territorio peruano se encuentra una gran variedad de depósitos metálicos, que en el caso del oro, plata y cobre, han sido explotados desde la época pre-inca. En la Colonia, hubo un gran desarrollo en la exploración y explotación de oro, plata y mercurio y, en menor grado, de plomo, por su asociación con la plata.

Posteriormente, en la República se empiezan a explorar yacimientos de metales básicos, por la creciente demanda de los países europeos y norteamericanos.

La exploración minera en Perú se ha concentrado en el estudio de yacimientos de los metales antes mencionados, pero también se han identificado depósitos de más de 40 sustancias metálicas y no metálicas. Existen yacimientos de antimonio, bismuto, cadmio, indio, manganeso, molibdeno, talio, telurio, tungsteno, entre los metálicos. Y de petróleo, carbón, baritina, caliza, yeso caolín, sílice, arcillas refractarias, ocre, talco, rocas ornamentales, entre los no metálicos. Sin embargo, la explotación de yacimientos no metálicos no se ha motivado lo suficiente, por el poco desarrollo industrial peruano, la baja relación precio-volumen, que aumenta sustancialmente los costos de transporte, desalentando la exportación; y, finalmente, la ausencia de una política pública de incentivo a este tipo de minería.

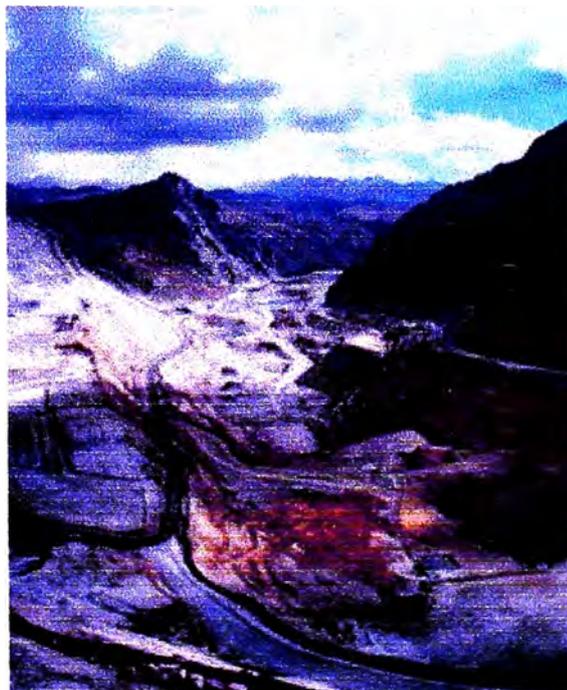


Figura 2.1.- Reservas Mineras en el Perú.

2.2 Procesos Mineros

Está claramente establecido que las sustancias minerales se requieren en un estado de alta pureza o concentración. Desde el punto de vista económico, no se puede aplicar procesos de extracción y refinación muy caros a pequeñas cantidades de metales tales como el cobre, plomo, zinc, níquel, molibdeno, etc; tal como se encuentran en la corteza terrestre. Primeramente es necesario concentrar estos minerales en pequeños volúmenes, a fin de ser sometidos a tratamientos intensivos y caros para la recuperación del metal puro. La porción de material inservible o desmonte, es separada en la etapa inicial, por medio de operaciones relativamente baratas.

El procesamiento de minerales, es el tratamiento de materias primas (minerales), extraídas de la superficie terrestre, para obtener productos comerciales con métodos que no destruyan la identidad física o química de los minerales. Por lo tanto, esta definición margina del procesamiento de minerales a operaciones como la refinación del petróleo, la lixiviación, el tratamiento por calor y otros procesos químicos.

En la actualidad, el uso de la tecnología en los procesos mineros está ampliamente difundido, debido a los ahorros que estos generan, además de hacer que los procesos sean más eficientes.

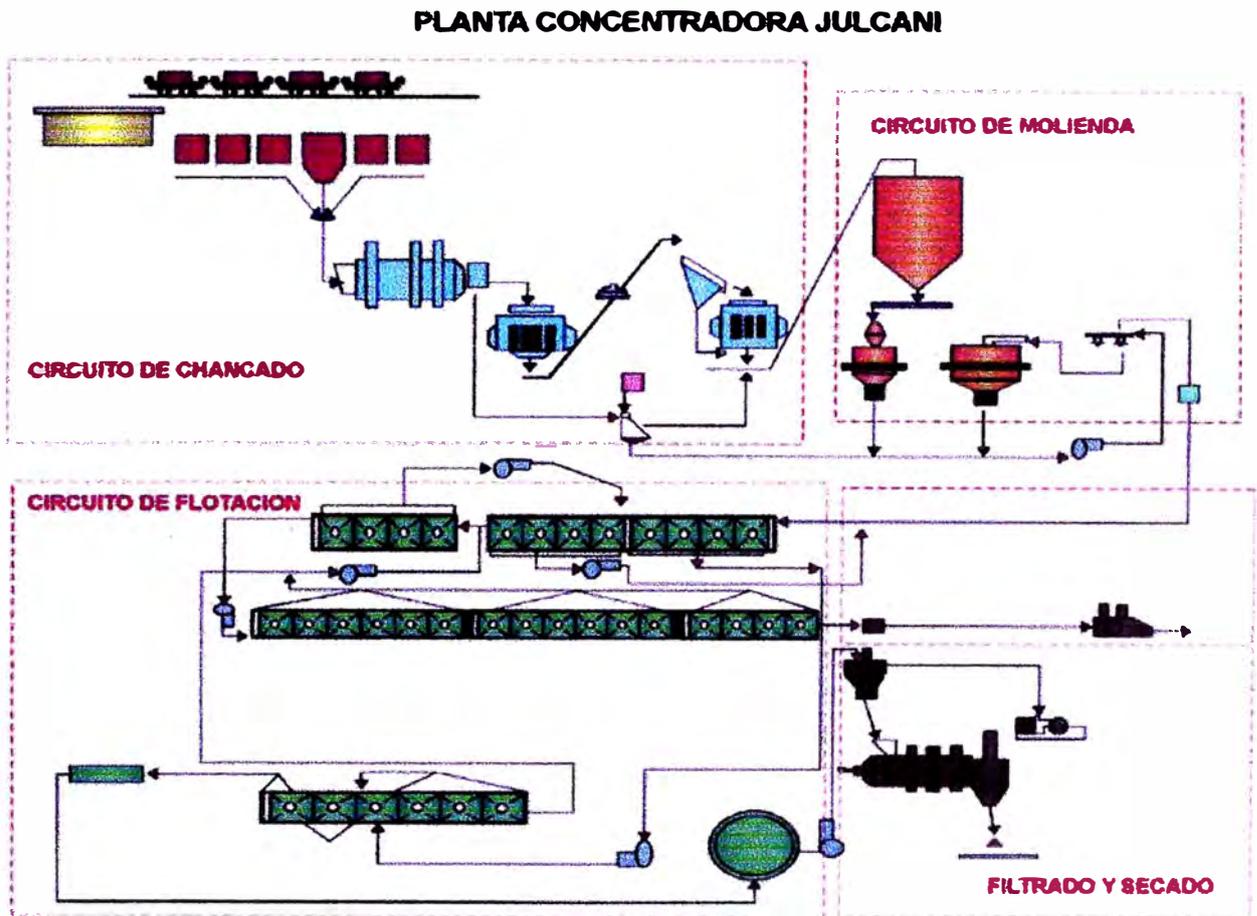


Figura 2.2.- Procesos Mineros

2.3 Principales procesos Mineros

2.3.1 Chancado

El chancado es una operación unitaria o un grupo de operaciones unitarias, cuya función es la reducción de grandes trozos de rocas a fragmentos pequeños; las partículas más gruesas de esta operación, son del orden de $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{8}$ de pulgada. Las chancadoras se diseñan de modo que reduzcan las rocas, a un grado tal, que todos los fragmentos sean menores a lo establecido.

La energía que se gasta en la trituración es convertida, en gran parte, en sonido y calor; por lo que se acepta generalmente que la eficiencia del chancado es muy baja. Estas pueden variar entre 5% hasta 30%.

Las chancadoras se clasifican de acuerdo al tamaño del material tratado, con alguna subdivisión en cada tamaño, de acuerdo a la forma en que las fuerzas son aplicadas.

- **Chancadora Primaria:** Tritura tamaños enviados directamente de las minas (rocas de un máximo de 60”) hasta un producto de 8” a 6”.
- **Chancadora Secundaria:** Toma el producto de la chancadora primaria y lo reduce a productos de 3” a 2”.
- **Chancadora Terciaria:** Toma el producto de la chancadora secundaria y lo reduce a fragmentos de $\frac{1}{2}$ ” y $\frac{3}{8}$ ”, los cuales se envían a un molino de barras o bolas según sea el caso.



Figura 2.3.- Planta de Chancado

2.3.2 Molienda

La Molienda es una operación unitaria que efectúa la etapa final de reducción de tamaño, o la liberación de las partículas valiosas del mineral. Lo que se hace en esta etapa, es la reducción de tamaño del material desde una dimensión máxima de alimentación que va desde 9000 a 10000 micrones (3/8 pulgada), hasta un producto límite, cuyo tamaño mas grande varía entre 420 a 74 micrones. El tamaño óptimo de liberación se determina, usualmente, mediante consideraciones técnicas económicas. Cuanto mas fino se muele el mineral, mayor es el costo de molienda y hasta cierto grado, una molienda mas fina conlleva a una mejora en la reoperación de valores. De acuerdo a esto, la molienda óptima es aquella en la cual los beneficios son máximos.

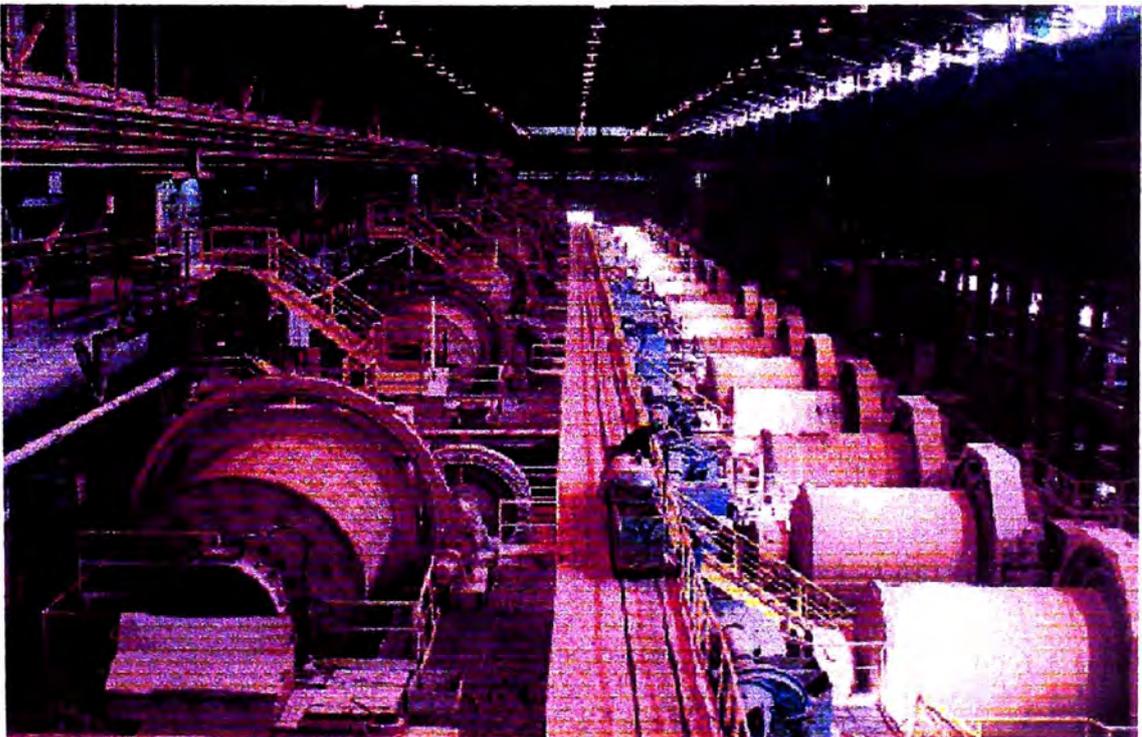


Figura 2.4.- Planta de Molienda

2.3.3 Flotación

La flotación es un proceso Físico-Químico usado para la separación de sólidos finamente divididos. La separación de estos sólidos (no similares), es efectuada por la adherencia selectiva de la superficie de la partícula a una burbuja de aire o a un líquido, cualquiera sea el caso. La adherencia de la partícula a la fase gaseosa o a la fase líquida es en la mayoría de los casos ayudada por reactivos químicos.

El medio ambiente bastante complejo, en el cual se efectúa la separación, comprende tres fases: la fase líquida (generalmente agua), la que es química y físicamente muy activa; la fase gaseosa (generalmente aire), la que es relativamente simple; y, la fase sólida, la que puede ser considerada muy variable. Las burbujas de aire sirven como balones y proveen la flotabilidad necesaria para llevar los minerales seleccionados a la superficie de la pulpa, donde una espuma estable retiene al mineral, permitiendo que éste sea arrastrado y extraído como concentrado. Mientras tanto, aquellos materiales que no han sido adheridos a las burbujas de aire, permanecen sumergidos y salen fuera del proceso como relaves.

Se puede asegurar que sin el desarrollo de la flotación por espuma, como se le conoce hoy en día, la industria minera nunca hubiera alcanzado su presente estado de desarrollo. La flotación ha hecho posible utilizar tanto minerales de bajo grado, así como minerales complejos, los cuales no hubieran tenido valor si es que solo se hubiera confiado en los métodos clásicos de concentración por gravedad. La flotación ha hecho posible la

explotación de millones de toneladas de material, que de otra manera no habrían sido económicas.

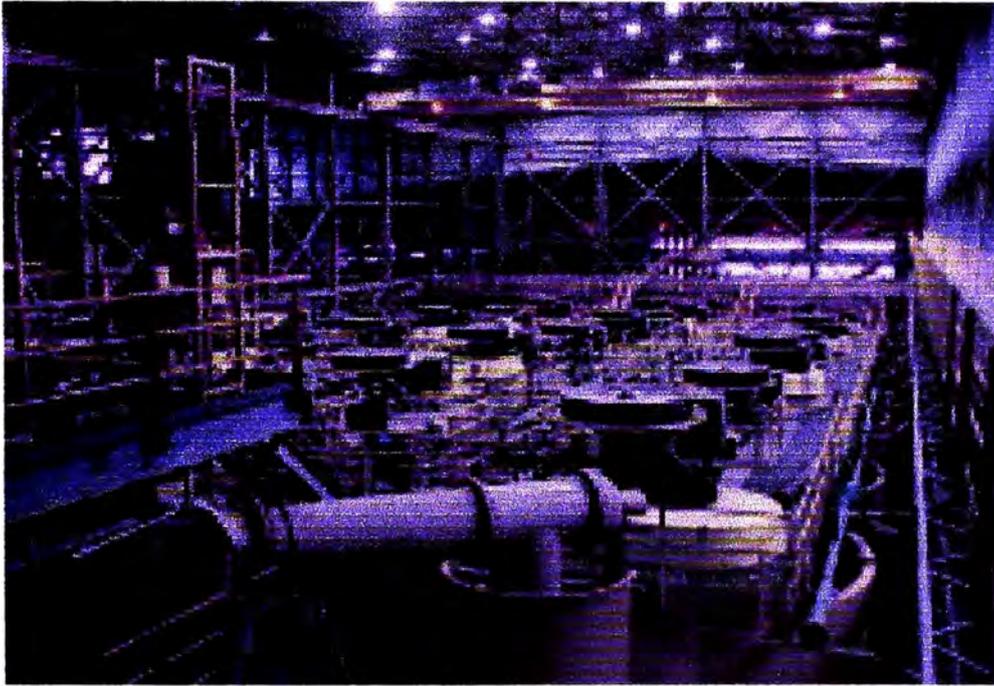


Figura 2.5.- Planta de Flotación

Capítulo 3

Gerencia del proyecto

Existe consenso en que el siglo XXI nos ofrecerá nuevos y mayores retos que cualquier otra época de la humanidad. El enfrentar con éxito estos retos requiere, además de voluntad, determinación y esfuerzo, de organización estructura y enfoque. La Gerencia de Proyectos es una metodología probada para enfrentar retos y lograr objetivos, sean éstos grandes o pequeños.

La Gerencia de Proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades de un proyecto para atender los requerimientos del mismo. Es también lograr los objetivos a través del uso de procesos tales como: inicio, planificación, ejecución, control y cierre

3.1 El Proyecto

El Proyecto contempla la incorporación de nuevos equipos e instrumentos, y la implementación de estrategias de control que permitan asegurar una fiabilidad y continuidad de operación del proceso, para un aumento de la capacidad de producción, reduciendo la cantidad de horas-hombre requeridas para la operación del Molino.

El gerenciamiento del proyecto es muy importante en el desarrollo del proyecto porque ayuda a la realización del mismo en forma ordenada y sencilla, dentro de un plan estratégico que involucra a las distintas áreas, tanto por el lado de la compañía minera, como de la empresa que se encarga de la ejecución. Su labor principal es la de planificar los trabajos y, sobretodo, de generar métodos de verificación y seguimiento de los mismos, teniendo además planes de contingencia ante posibles eventualidades.

Para la automatización del molino 9 ½ x 14, se tuvo en consideración algunas de las pautas sugeridas por el PMI “Project Mangement Institute”, para el gerenciamiento de los proyectos.

3.1.1 Stakeholders

El impacto positivo que tiene el desarrollo del proyecto es en beneficio de la empresa minera y de los trabajadores, principalmente. Los beneficios obtenidos aumentaran las utilidades de la empresa y, por consecuencia, las obligaciones con los trabajadores y las comunidades cercanas a la mina.

Por otro lado la empresa de ingeniería, que se encarga del desarrollo del proyecto, tiene no solo beneficios económicos, los cuales son importantes, sino también el incremento en el “Know How” de la empresa.

Tabla N° 2.1.– Áreas Involucradas

COMPAÑÍA MINERA	COMPAÑÍA DE INGENIERIA
Proyectos	Proyectos
Producción	Control de calidad
Mantenimiento	

3.1.2 Grupos de Trabajos

El grupo de trabajo es la entidad que participa, directamente, apoyando al desarrollo de las distintas fases y etapas del proyecto. Ellos definen los alcances del proyecto, estableciendo los mecanismos para evaluar y aprobar las fases del proyecto.

Por parte de la Compañía minera:

Las funciones del grupo de proyectos son:

- Definir la operación actual del sistema
- Especificar la configuración del sistema actual
- Entrega de los planos de proceso P&ID
- Participar en forma activa en el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle del sistema.

Las funciones del grupo de Producción son:

- Aprobar la operación actual del sistema
- Definir la operación del sistema a implementar
- Aprobar el manual de operaciones del sistema
- Aprobar el procedimiento de operación normal y alarmas
- Aprobar la información del proceso que se guarda en la base de datos.

Las funciones del grupo de Mantenimiento son:

- Evaluar el mantenimiento y disponibilidad del sistema
- Desarrollar un histórico de la efectividad global de los equipos del sistema
- Definir los requerimientos de mantenimiento del sistema
- Evaluar la performance del nuevo sistema de control

3.2 Alcance del Proyecto

Los alcances determinan todas las responsabilidades a la cual está sujeta la empresa que desarrollara la automatización del molino, de igual manera también se detallan aquellas que la Compañía Minera está obligada.

3.2.1 Restricciones

Dentro de las principales tenemos:

- Para la automatización del molino, se realizan trabajos tanto en Lima (Taller de la compañía ejecutora), así como en la planta concentradora de Compañía Minera; la planificación de los mismos se debe de ajustar a los horarios de parada de planta, con la idea de no interrumpir el proceso productivo y generar sobrecostos al proyecto.
- El monto del proyecto es de 51,807.22 dólares americanos sin IGV, de los cuales el 40% de este monto fue entregado como adelanto para la ejecución de proyecto, a la entrega de los equipos se procede a la cancelación de los mismos, y el resto con la firma del acta respectiva.
- Los tiempos de entrega de los equipos de control normalmente demoran entre 4 a 6 semanas, los equipos de instrumentación demoran

en llegar alrededor de 6 semanas, estos tiempos limitan culminar el proyecto antes de la fecha.

- El tiempo proyectado para la ejecución del proyecto es alrededor de las 14 semanas después de puesta la orden de compra.

3.2.2 Suposiciones

Condiciones que deben de ser dadas por la compañía minera para la ejecución del proyecto.

- La compañía minera garantiza el correcto funcionamiento mecánico del molino así como de los instrumentos de campo actualmente instalados.
- Los instrumentos de campo que se encuentran ya instalados en el molino deben de estar calibrados.
- La acometida de 440VAC para los tableros de los variadores de velocidad así como 110 VAC para el control, debe ser proporcionada e instaladas por la compañía minera.
- Compañía Minera se encargará de proveer una alimentación estabilizada de 110 Vac con neutro (no mayor a 0.5 Vac) y línea a tierra y además de una alimentación estabilizada de 220 Vac con neutro (no mayor a 0.5 Vac) y línea a tierra en los gabinetes donde se vaya a albergar los procesadores e Instrumentos
- Compañía Minera otorgará facilidades al personal de la empresa ejecutora del proyecto (un almacén temporal, un taller para labores de

soldadura y montaje, teléfono, acceso a correo electrónico, etc) para la ejecución de las labores encomendadas.

- La empresa ejecutora del proyecto dotará a su personal las radios portátiles que resulten necesarias, así como los implementos de seguridad personal de acuerdo al reglamento respectivo de la Compañía minera.

3.2.3 Entregables del Proyecto

Para la culminación del proyecto la empresa ejecutora del proyecto debe hacer entrega tangible de los equipos y servicios comprometidos al iniciar el proyecto.

- **Tablero de Fuerza para el variador de 150HP**, incluye fusibles, protección de línea, arrancador, rele de protección, accesorios y consumibles.
- **Tablero de Fuerza para el variador de 11 KW**, incluye fusibles, protección de línea, arrancador, rele de protección, accesorios y consumibles.
- **Tablero de Control del Molino**, incluye PLC de la familia de los Compact Logix, tarjetas de entrada y salida análoga, tarjetas de entradas y salidas digital, gateway de comunicación Modbus-Ethernet, servicio de montaje

- **Instrumentación de Campo,** incluyen válvulas de control, sensores de presión manométrica, flujómetro, sensor de nivel del tipo ultrasónico.
- **Sistema de Supervisión (SCADA),** pantallas de operador, pantallas de tendencias, pantallas de históricos, generación de reportes, pantalla de sintonización de parámetros, pantallas de alarmas.
- **Panel de Operador,** pantallas de operador, pantalla de sintonización de parámetros, pantalla de alarmas.
- Planos de los tableros los cuales incluyen layout del sistema, diagramas de conexionado, diagramas esquemáticos, diagrama de borneras, diagrama de redes de comunicación, diagrama de distribución de equipos en gabinete, inventario de cables.
- Dos copias de los programas de control, supervisión y panel de operador, además de la capacitación del personal una vez terminados los trabajos y firmada la aceptación del proyecto.

3.2.4 Objetivos

- Realizar el control y supervisión de funcionamiento del molino así como el monitoreo de los parámetros mas importantes del proceso.
- Crear registros históricos de las señales más importantes del proceso, de tal manera que permita hacer un análisis de las posibles fallas que interrumpan el proceso en forma imprevista, y para una posterior

implementación de un sistema de mantenimiento predictivo por parte de la compañía minera.

- Proveer señales de alarma a los operadores de campo, en una pantalla de supervisión en donde se indica el motivo y el lugar de la alarma, lo cual facilita enormemente la corrección inmediata sin parar el proceso.
- Instalar equipos de control modulares que tengan la posibilidad de expansión a futuro con el resto de la planta y faciliten la integración de esta, sin la necesidad de incrementar de manera significativa los costos de inversión.

3.2.5 Verificación del Alcance

La verificación de los alcances del proyecto se realizara en el “**Kick Off meeting**”, con todas las personas involucradas en el proyecto por parte de Compañía Minera y la empresa de ingeniería, esto se hace al final de la reunión de inicio del proyecto. El documento de Inicio de Proyecto es firmado por cada una de las personas asistentes a la reunión. En este documento quedan definidos los alcances del proyecto, cualquier trabajo que no esté dentro de este documento será considerado como una variación al alcance y se debe analizar el impacto que genere en el proyecto.

3.3 Gerencia de los tiempos del Proyecto

Para la realización del proyecto se elaboró un cronograma, detallándose las tareas y el personal asignado para cada una de las mismas. Este se muestra en el apéndice 1.

Para en control del cronograma, los líderes de cada grupo de trabajo presentarán una relación de las tareas asignadas y el porcentaje de avance de la tarea, todo esto en la reunión de inicio de actividades semanales. El jefe del proyecto se encarga de actualizar el cronograma con los porcentajes de avance y de acuerdo a sus indicadores se busca la solución a los retrasos mediante la asignación de recursos adicionales. Normalmente las actualizaciones del cronograma se dan después de un cambio en los alcances o alguna acción imprevista o no planificada.

3.4 Gerencia de la Calidad del Proyecto

Para asegurar de la calidad del proyecto, se establecieron algunos diagramas de flujo de los procesos o fases del proyecto.

Estos se encuentran en el apéndice 3, y son en resumen los pasos a seguir durante el desarrollo del proyecto.

- **Inicio del Proyecto**, en esta primera fase que es una de las más importantes, se hace un estudio técnico de los alcances del proyecto estableciéndose todas las tareas y la asignación de recursos para cada una de las mismas. Todos los procedimientos deben de terminarse con la firma de un acta, en la cual la

compañía minera da su aceptación. Esta etapa termina con la firma del documento “Alcances del proyecto”, en el cual se explican todas las actividades que son responsabilidades de la empresa ejecutora y lo que es responsabilidad de la compañía minera. En estos procedimientos se detallan, además, los posibles puntos de fallas.

- **Ingeniería Básica**, la primera parte comprende la revisión de los objetivos del sistema, todo esto en base a la propuesta técnica económica aprobada y la documentación entregada por el cliente. Lo obtenido aquí es sometido a la aprobación del cliente, si esto no es aprobado se realiza una revisión, si se aprueba se procede a establecer las estrategias de control, la arquitectura planteada y la revisión del sistema de supervisión, los reportes; la documentación obtenida es sometida otra vez a la aprobación del cliente, previa aprobación del grupo de trabajo, obteniéndose un documento final de ingeniería básica.
- **Ingeniería de detalle**, de manera similar a la ingeniería básica, todos los procesos generados son documentados. En esta parte se hace el desarrollo del proyecto en base al documento anterior, el resultado final es la aprobación del documento de Alcance Final del proyecto, en base a toda la documentación aprobada.
- **Integración y prueba del sistema de control**, se realiza la simulación del sistema integrando todas tanto hardware como software, en la simulación se

revisa la configuración, la lógica y alarmas, todo esto es en presencia del cliente, las observación que se generen deben de ser levantadas y proceder a una nueva. Esta parte concluye con la aceptación por parte del cliente de las pruebas en frío o sin carga.

- **Puesta en Marcha y comisionamiento**, los procedimientos de puesta en marcha del sistema son realizados con participación del ingeniero de proyectos por parte del cliente, este emitirá un documento con las observaciones del sistema, si estas están dentro de los alcances del proyecto son corregidas; en caso contrario dependiendo del impacto que genere en el proyecto se procede a la entrega del mismo. El acta de entrega da por terminado el proyecto, empezando a correr el tiempo de garantía del mismo.

3.5 Gerencia de las comunicaciones del Proyecto

Para asegurar un eficiente proceso de recepción y almacenamiento de información nos basamos en el registro de documentación general de la empresa, la comunicación entre la empresa contratista y el cliente debe ser integral, igualmente para asegurar un buen desempeño de todos los procesos es necesario conocer la documentación interna para poder registrar y proveer la información necesaria al receptor indicado

Estos registros de documentación se encuentran ya definidos y son utilizados de acuerdo a los procesos determinados para la elaboración del proyecto.

El objetivo de tener documentado toda la información es responder rápidamente a las exigencias de cualquier personal interno, y evitar de esta manera conflictos por malos entendidos y retrasos en los procedimientos de todo el sistema.

Los métodos para impartir la información sobre la elaboración, ejecución, y cierre del proyecto, pueden ser realizados a través de documentos, charlas informativas o reuniones de trabajo.

Los registros de información están basados en los procedimientos de codificación de documentos, como se establece en la tabla 2.2 y la tabla 2.3. Estos documentos son utilizados según los procedimientos establecidos por cada área y teniendo en cuenta la dirección de la información

Tabla N° 2.2.– Formatos de Documentación

Formato	Código	Elaborado	Recibido	Actualización
Formulación de Proyecto	SLU-FP-XXX-FULLER	LP	LT	Fin de la Organización
Cronograma de Trabajo	SLU-CT-XXX-FULLER	LP	LT, LT	Antes de cada reunión de gestión
Reportes de Gestión	SLU-RG-XXX-FULLER	LP	LU,LT	Antes de cada reunión de gestión
Control de Cambios	SLU-CC-XXX-FULLER	LP	LU,LT	Revisiones de prototipo
Memorandum de riesgo	SLU-MR-XXX-FULLER	LP	EP, LU,LT	Eventual
Bitácora de Ocurrencias	SLU-BO-XXX-FULLER	EP	LU,LT	Post-puesta en marcha
Carta de entrega	SLU-CE-XXX-FULLER	LP	EP,LU	Fin de Proyecto
Balance de Recursos	SLU-BR-XXX-FULLER	LP	GC	Cierre de cada mes
Tablero de Control	SLU-TC-XXX-FULLER	LP	GC	Cierre de cada mes

LP: Líder del Proyecto ET: Equipo de trabajo LT: Líder técnico LU: Líder Usuario

Tabla N° 2.3.– Documentación Interna

Documentos	Códigos
Requerimientos internos	RQL-XXX-2004
Solicitud de Cotización	SCL-XXX-2004
Ordenes de Compra	OCL-XXX-2004
Cartas de reclamo de productos	CRL-XXX-2004
Cartas de Autorización	CAL-XXX-2004
Protocolo de Pruebas	PRP-XXX-2004

Si alguno de los documentos anteriormente mencionados son modificados, deben ser aprobados por la persona que las ha generado. La recepción de todos los documentos pueden ser realizadas físicamente o electrónicamente.

A continuación mostramos el procedimiento de reunión de gestión semanal aplicado al proyecto.

Tabla N° 2.4.– Procedimientos aplicados al proyecto

Actividad	Responsable	Descripción
Reunión de Información Periódica	Jefe del Proyecto y Equipo de trabajo	Al inicio del proyecto se define que se realizara una reunión por semana entre el jefe de proyectos y el equipo de trabajo. Esta frecuencia podrá ser variada de acuerdo a los problemas que se presenten o la urgencia del caso. Durante las reuniones se enfatiza en acciones para evitar las desviaciones del cronograma
Actualización del Cronograma de trabajo y Reporte de Gestión	Jefe de proyecto	Con los comentarios de la reunión se actualiza el reporte de gestión

El Flujo de información es establecido a través de las responsabilidades que tiene cada área en la realización del servicio, y este depende de los procesos a realizarse durante la ejecución del proyecto.

En el diagrama que se muestra a continuación se observa cual es el flujo de información que ocurre cuando se elabora el proyecto, también puede notarse las relaciones directas entre la compañía Ejecutora y el cliente.

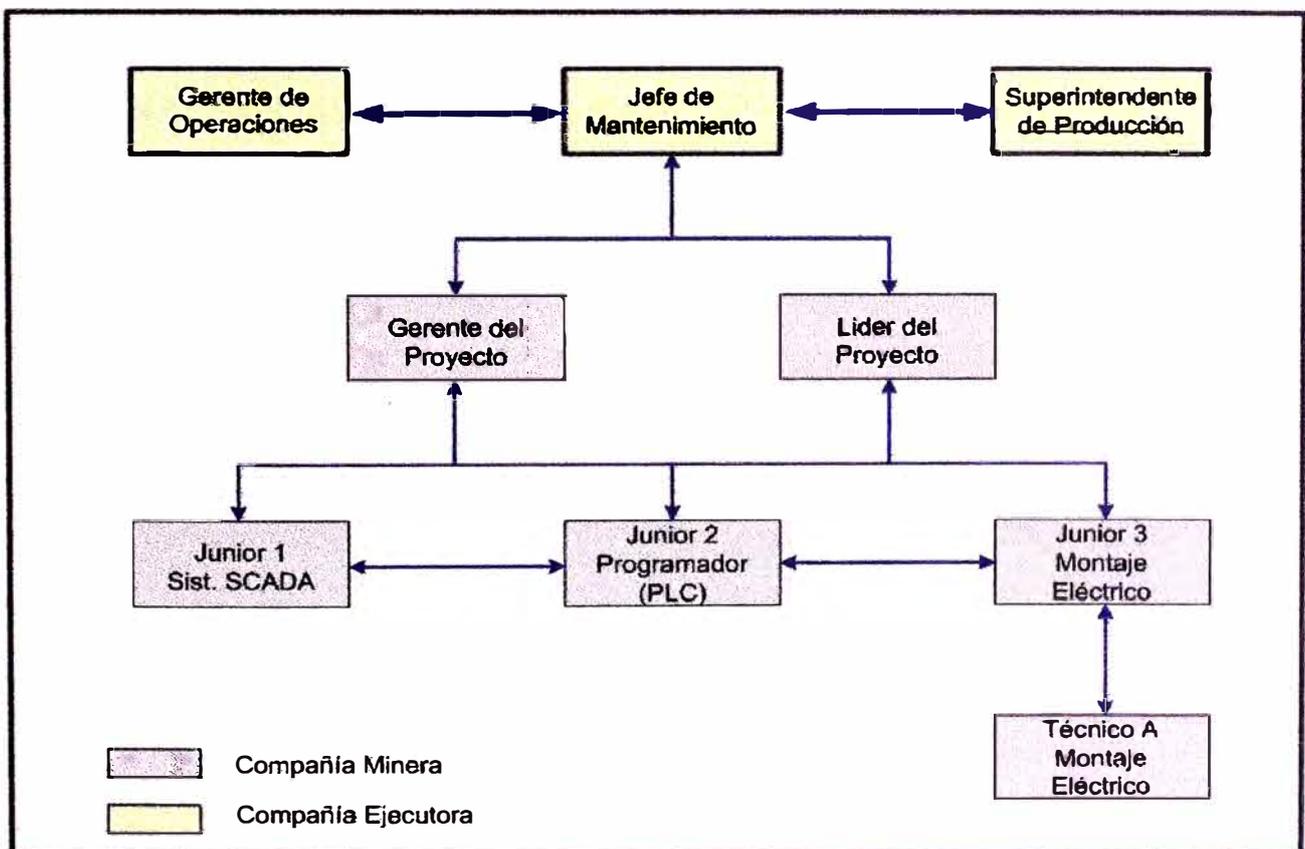


Figura 2.1.- Flujo de información del proyecto.

Capítulo 4

Evaluación Inicial del Sistema

4.1 Necesidad del Automatismo.

Para la compañía minera el molino 9 ½ x 14 es el mas importante en el área de molienda ya que cubre aproximadamente el 40% de la producción, es por esta razón la necesidad de hacerlo mas eficiente para aumentar la productividad y también generar registros históricos de las principales variables del proceso para la generación de reportes de producción y reportes de horas de funcionamiento para los programas de mantenimiento del molino.

4.2 Operación del Molino

La operación del molino era totalmente manual y estaba a cargo de un operador por turno. Cada turno de 12 horas diarias, este a su vez estaba a cargo de la operación de toda el área de molienda, que incluía alrededor de 4 molinos de menor capacidad,

no se tenía registro de producción y los cambios en los pocos parámetros que se podían controlar se hacían de acuerdo a la experiencia del operador.

4.2.1 Condiciones de Arranque del Molino

El proceso de arranque del molino comienza con el sistema de lubricación del motor, el cual cuenta con un sistema de control a base de lógica de reles, cuando el aceite llega a la presión trabajo, éste habilita al molino para arrancar.

Antes del arranque, el operador ingresa agua al molino de manera que el impacto de las bolas de acero que están en el interior del molino con el forro interior se amortigüen, inmediatamente después el operador debe de arrancar la bomba de descarga para que el tanque de descarga no se rebalse. Una vez que logre un equilibrio entre el agua ingresada y agua descargada, el operador procede a hacer girar el motor del molino, seguidamente mediante un sistema neumático encloucha el molino al motor.

4.2.2 Zona de Carga del Molino

De acuerdo al tonelaje programado por el supervisor, el operador fija la válvula de ingreso de agua en una posición determinada, esta posición es lograda observando el chorro de agua que ingresa al molino.

Para el ingreso de mineral se trabajan con dos silos y con cinco fajas, de las cinco fajas, la faja 1 y 2 trabajan con el Silo 1 y la faja 4 y 5 trabajan con el silo 5; la faja 3 es la que lleva el mineral al molino, en ella esta instalada una balanza del tipo Nuclear de la marca Ronan de 60 TPH, esta tiene un indicador en el cual el operador puede apreciar cuanto está ingresando al Molino. La faja 1 y la faja 5 están a la salida de los Silos, la única manera de regular el ingreso de mineral hacia el molino se hace aquí, ya que el operador aumenta el porcentaje de apertura del chute o lo disminuye de acuerdo a lo observado en la balanza.

En cuanto a los accionamiento de las fajas, estos son arranques directos comandados por botoneras ubicadas en el MCC y en campo, las fajas presentan enclavamientos eléctricos para el arranque de las mismas, es decir si queremos arrancar el sistema comenzamos por la faja 3, una vez arrancada, esta habilita eléctricamente a la faja 2 y 4 de modo que ambas están listas para arrancar; luego de arrancada alguna de estas, las mismas sirven como permisivo para el arranque de la faja 1 y 5 respectivamente.

En cuanto a las seguridades, este sistema de fajas solo presenta Pull Cords, las que están enseriadas eléctricamente, de manera que si se presenta algún problema en alguna de ellas, todas las fajas se detienen, además presentan una parada de emergencia que también es para las 5 fajas.



Figura 4.1.- Entrada de mineral y agua hacia el molino

4.2.3 Zona de Descarga del Molino

Luego de ingresar el mineral al molino, se debe de controlar la densidad de la pulpa que va hacia los Hidrociclones, de manera similar al control del agua que ingresa hacia el molino, el operador debe de posicionar la válvula de ingreso de agua a la salida del molino manualmente para permitir el ingreso de agua de acuerdo a su experiencia, el único modo de control que tiene es mediante de los reportes emitidos por el personal del laboratorio metalúrgico o visualmente al observar la espuma de la pulpa en el tanque de descarga. Estos reportes son hechos tres veces por turno, de manera que solo corregirá esto cada cuatro horas aproximadamente.

Tanto la densidad como la presión con la que la pulpa ingresa a los ciclones determinan qué porcentaje de partículas finas van hacia las celdas de flotación del tipo espuma o se regresan a la molienda.



Figura 4.2.- Zona de descarga del molino.

4.2.4 Parada del molino

El proceso de parada del molino comienza deteniendo el sistema de fajas de atrás hacia adelante, iniciándose por la faja 1 o 5, siguiendo con la 2 o 4, según sea el Silo de trabajo; y, finalmente, la faja 3, se hace de esta manera para que no quede mineral sobre las fajas. Luego de quitada la carga de mineral al molino se debe de esperar un tiempo hasta que el mineral que se encuentra dentro del molino sea triturado y expulsado del molino, de manera que solo queden las bolas de acero y el agua.

Seguidamente se procede a desenclouchar el molino del motor del molino y parar el motor, ya con el molino detenido y sin carga se corta el ingreso de agua a la entrada. Inmediatamente se procede a parar las bombas y por ultimo cerrar a válvula de ingreso de agua a la salida del molino.

4.3 Principales Problemas Operativos

Después de un análisis del sistema se puede observar que presenta muchas limitaciones técnicas y operativas que se reflejan en la calidad de la molienda, dentro de los principales problemas encontrados tenemos.

- **Control de ingreso de mineral:** La regulación del mineral lo hace el operador, y lo hace solo una vez que empieza la producción. Únicamente realiza modificaciones cuando nota que el tonelaje baja. Si por alguna razón el chute se obstruye, sólo tomaría acción cuando pasa cerca del molino y nota alguna anomalía.
- **Ingreso de Agua:** El agua que ingresa al molino proviene de unos tanques, en los cuales no existe un control de nivel; por esta razón el tanque varía su altura conforme se aumenta el consumo de agua en la planta. Esto hace que el flujo de agua que ingresa al molino sea muy variable, de manera que no se puede mantener una relación Sólido / Líquido constante.

- **Rebose de Tanque de Descarga:** Al no existir un control de nivel en los tanques de descarga, el nivel sube o baja de acuerdo a lo que el molino entregue, si la bomba no es capaz de enviar esta carga al Ciclón, el nivel sube y derramara la pulpa, generando pérdida de material, ensuciando los ambientes cercanos.
- **Cavitación de Bomba de Descarga:** Cuando existen problemas a la entrada del molino ya sea por disminución en de mineral o de agua, esto se ve reflejado directamente en la cantidad de pulpa en el tanque de descarga, como no existe ningún medio de regulación en la bomba, esta trabaja siempre al 100%, de manera que hay instantes en que el tanque queda totalmente vacío, generando daños en la estación de bombeo.
- **Densidad de Pulpa Variable:** De manera similar al ingreso de agua en la zona de carga, el agua que ingresa al tanque de descarga es muy variable.
- **Reportes de Producción:** No se tiene reportes del mineral procesado, en la actualidad estos son llenados de manera manual y existe el riesgo de ser manipulados, además de generar horas extras de trabajo en los operadores.

4.4 Beneficios Esperados

La implementación de un sistema automático implica necesariamente una inversión por parte de la compañía minera, no solo en el aspecto económico sino en la logística y la asignación de tareas a los ingenieros y jefes de las áreas de mantenimiento, producción, proyectos, etc.

Se espera que el molino trabaje a su máxima carga permisible, esto puede variar de acuerdo a la dureza del mineral, al desgaste de las bolas, etc. Siendo su carga en promedio de 41.42 TMH, según un muestreo hecho en 17 días de trabajo.

El promedio de carga que se espera alcanzar es de 43 THM, todo esto sin incrementar el consumo energético del molino, esto significa aproximadamente 3.81% de incremento de la producción.

Mejoramiento de la calidad de la molienda, en la actualidad es de 65% (-200) mallas, lo cual implica de manera directa mejoras en los procesos siguientes como flotación.

Reducción de las paradas de producción no programadas, esto a través de la implementación de alarmas y trips en la lógica de control del PLC, de manera de proteger el molino ante algún problema muy grave el cual implique daños severos en el Hardware. Lo recomendable es no llegar a parar el molino ya que el arranque del molino con carga implica un aumento en la corriente de arranque del molino y los cojinetes del mismo.

Capítulo 5

Ingeniería Básica

5.1 Filosofía de Control

De acuerdo al análisis inicial del sistema se elaboró la filosofía de control que se uso en el desarrollo del proyecto, en este documento se describe el funcionamiento del molino.

5.1.1 Control de Fajas

El control de fajas comprende dos partes: la primera referente al lazo de regulación de mineral que ingresa al molino y la segunda parte, al control del arranque y parada de las cuatro fajas, además de sus modos de trabajo en manual y automático.

Para el control del lazo de regulación se aprovecha la balanza actualmente instalada, la cual es una RONNAN del tipo nuclear con una capacidad de 60 TPH, que se encuentra instalada en la faja 3, por esta ingresa el mineral hacia el molino. El actuador final es el variador de velocidad de la marca Allen Bradley del modelo PowerFlex 70, el cual aumenta o disminuye la velocidad de la faja, de acuerdo al setpoint ingresado.

El sistema de control de las fajas tiene dos formas de trabajo, en manual y automático, en ambos casos las fajas 1 y 5 trabajan con el variador de velocidad.

- **En Manual:** poner el selector en modo manual, en seguida seleccionar el silo con el cual se quiere trabajar, luego hacer el arranque de las fajas de acuerdo al silo seleccionado; es decir, si trabajamos con el Silo 1, arrancamos la faja 3, luego la faja 2 y por ultimo la faja 1. pero en el caso de la faja uno, el arranque se hace por medio del variador de velocidad, es decir que el operador puede ingresar la velocidad de giro del motor a través de un panel numérico electrónico que se encuentra en el variador donde:

60 Hz ----- 100%

0 Hz ----- 0%

- **En automático:** De manera similar al caso de manual se debe de colocar el selector en modo automático, seleccionar el silo con el cual vamos a trabajar y procedemos al arranque de las fajas, similar al caso de manual, solo que el arranque lo podemos hacer desde el Sistema de supervisión o desde el Panel de Operador Electrónico, instalados en la sala de control y en Planta respectivamente. Cuando la faja esté parada la observaremos de color rojo, cuando esté lista para arrancar, es decir la faja anterior ya fue arrancada, la observaremos de color anaranjado y cuando la faja esté de color verde

significa que ya fue arrancada y está operando normalmente. La velocidad de giro del motor de la faja 1 y 5 va a depender del Setpoint ingresado.

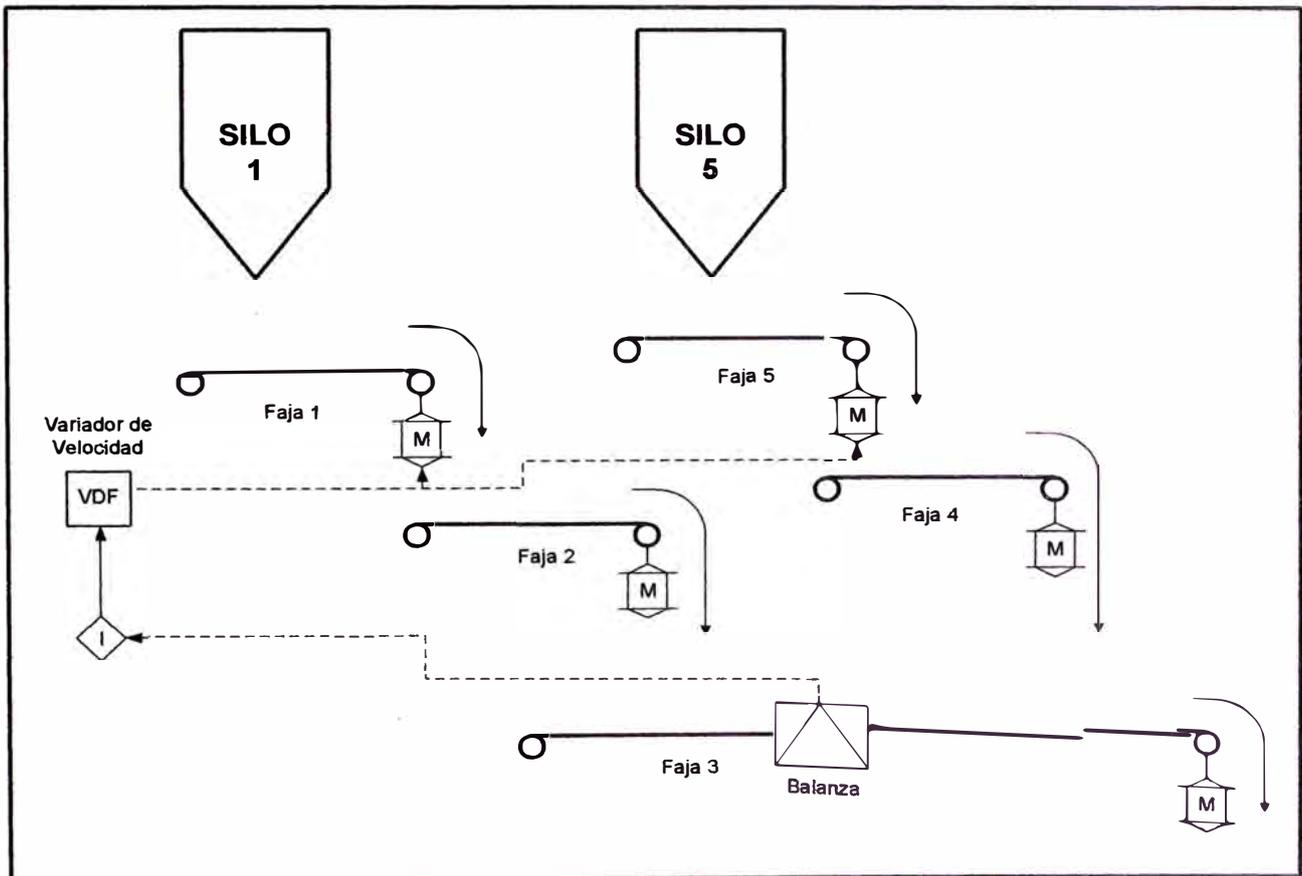


Figura 5.1.- Diagrama de Control de Fajas.

5.1.2 Control de Ingreso de Agua.

El ingreso de agua hacia el molino se realiza a través de una tubería de 3 pulg., sobre la cual se montara una válvula con accionamiento neumático desde la cual podremos regular el porcentaje de apertura de acuerdo al caudal seteado por el lazo de regulación que fue programado en el PLC, el flujómetro instalado es del tipo magnético, y el actuador final una válvula del tipo globo.

El setpoint para este lazo será asignado automáticamente ya que depende del setpoint de mineral y de la relación sólido / liquido. El operador ingresa este ratio desde la pantalla de supervisión.

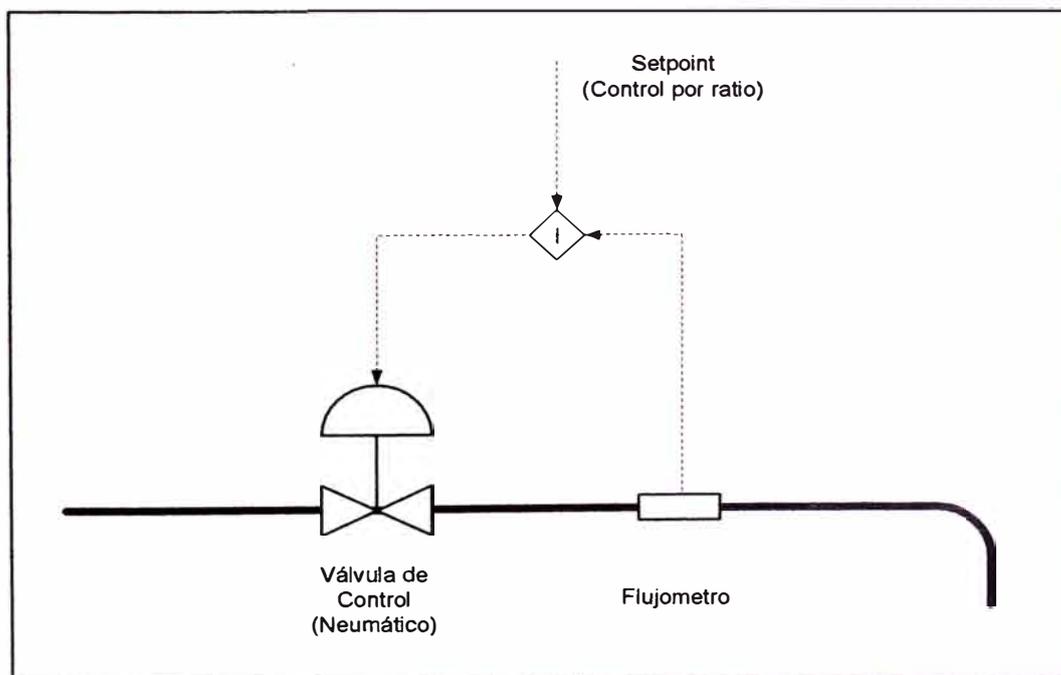


Figura 5.2.- Diagrama de control de agua a la entrada del Molino.

5.1.3 Control de relación Sólido / Líquido.

En todo proceso de molienda es importante mantener una relación entre la carga de mineral y la cantidad de agua que ingresa al molino, para nuestro caso la relación es de 1.8. Con solo fijar el setpoint de mineral automáticamente el setpoint de agua se actualiza de manera proporcional a este valor.

Este valor fue obtenido de una serie de datos dados por el personal de planta como resultado de los balances de materia realizados en laboratorio antes de la implementación.

Tabla N° 5.1.- Relación Sólido / Líquido.

Mineral (TMP)	Agua (m3/h)	Densidad (g/l)	Relación S/L
41,20	27,16	2250	1,52
38,60	18,30	2400	2,11
39,00	14,13	2520	2,76
38,80	28,19	2480	1,38
38,30	25,37	2460	1,51
39,60	18,39	2340	2,15
41,30	18,35	2350	2,25
47,30	20,86	2340	2,27
45,93	19,69	2350	2,33
39,53	21,99	2365	1,80
43,73	21,68	2310	2,02
38,79	15,85	2558	2,45
40,60	15,46	2368	2,63
43,12	32,82	2114	1,31
42,76	31,35	2273	1,36
42,56	28,03	2346	1,52
43,00	28,08	2282	1,53
41,42	22,69	2359	1,83

5.1.4 Control de Nivel en Tanques de descarga

En la zona de salida de los molinos de bolas existen dos parámetros importantes por controlar: la densidad y la presión a la entrada de los ciclones, pero existe además un tercer parámetro que es el nivel del tanque de descarga el cual debe de ser controlado para evitar daños en las bombas de descarga del molino. En la descarga del molino existen dos tanques e igual número de bombas, para poder controlar el nivel se instalan sensores de nivel del tipo ultrasónico, los cuales reaccionan mejor a sustancias que presentan gran cantidad de espuma como es el caso de la pulpa de mineral que va hacia los ciclones.

Para el control de las Bombas se instaló un Variador de velocidad de 150 HP, el cual regula la velocidad de las bombas de acuerdo a las características del proceso. Al ser esta parte un proceso muy rápido, el control será por banda, es decir fijaremos un rango de niveles de manera que logremos mantener la bomba siempre con carga.

En el presente proceso solo controlaremos la densidad, la presión no fue considerada pero al final se darán unas pautas para solucionar este problema. El control de densidad se realiza regulando la cantidad de agua que ingresa a la salida del molino, para esto se instala una válvula de regulación neumática, la cual está instalada en la línea de agua. La realimentación del proceso es dada por el sensor de densidad del tipo nuclear instalado en la línea de pulpa, antes del ingreso a los Ciclones.

Desde el tablero de control de las Bombas podremos seleccionar el modo de trabajo es decir Manual o Automático y la bomba con la cual vamos a operar el molino.

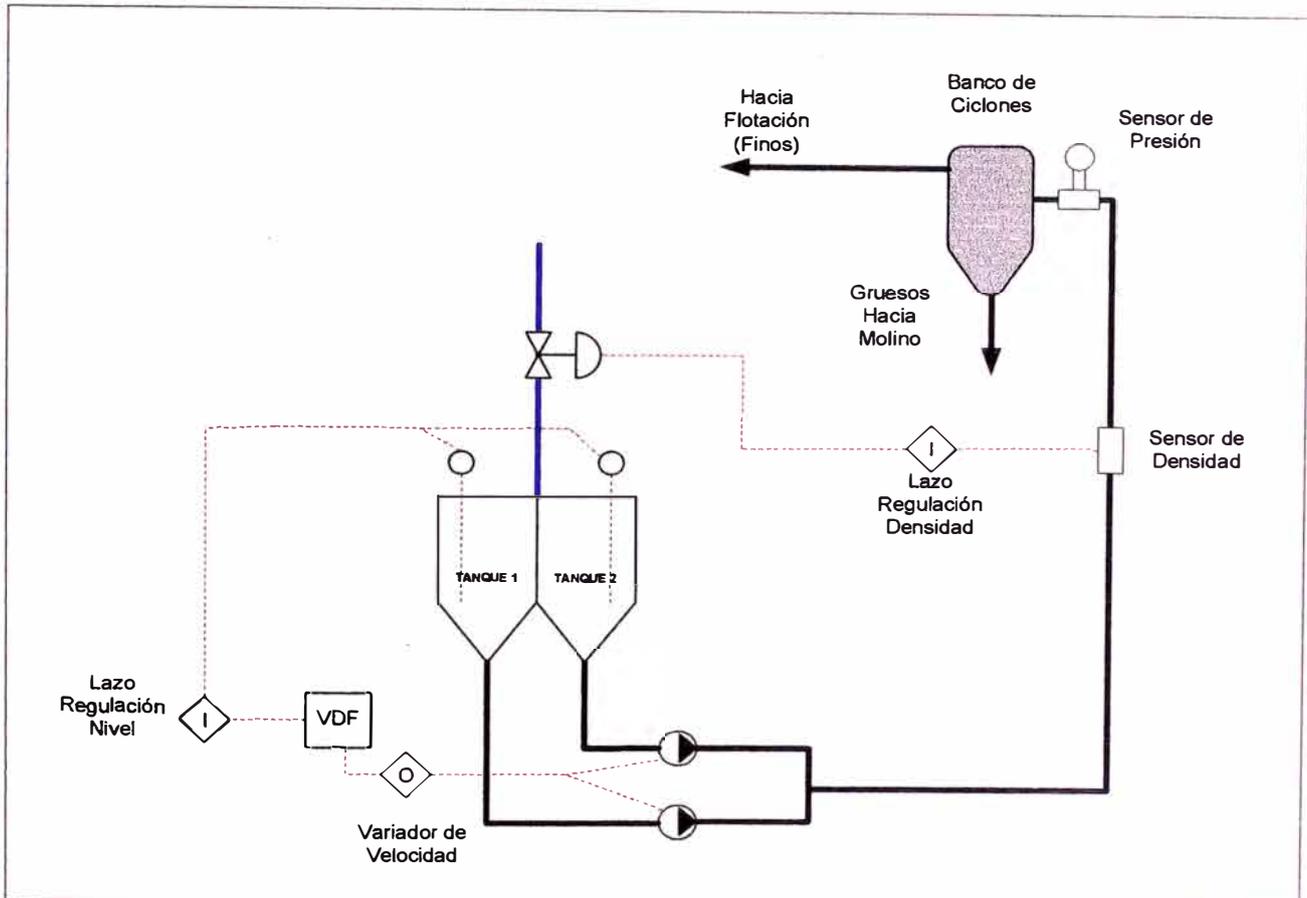


Figura 5.3.- Diagrama de control en la descarga del Molino.

5.1.5 Protección del Molino

Se instalan dos sensores de vibración para el molino y dos para el motor del molino, estos están ubicados en ambos extremos como se muestra en el grafico, además se instala un medidor de energía para monitorear los consumos del motor del molino de manera de generar registros históricos que

permitan determinar el estado del motor. Cabe indicar que es posible en algunos casos controlar la carga del molino en función del consumo del motor, para este caso se hizo un estudio del mismo y en las pruebas se pudo apreciar que variando la carga no existía un incremento en la potencia consumida del molino, por esta razón, no se pudo implementar esta estrategia de control.

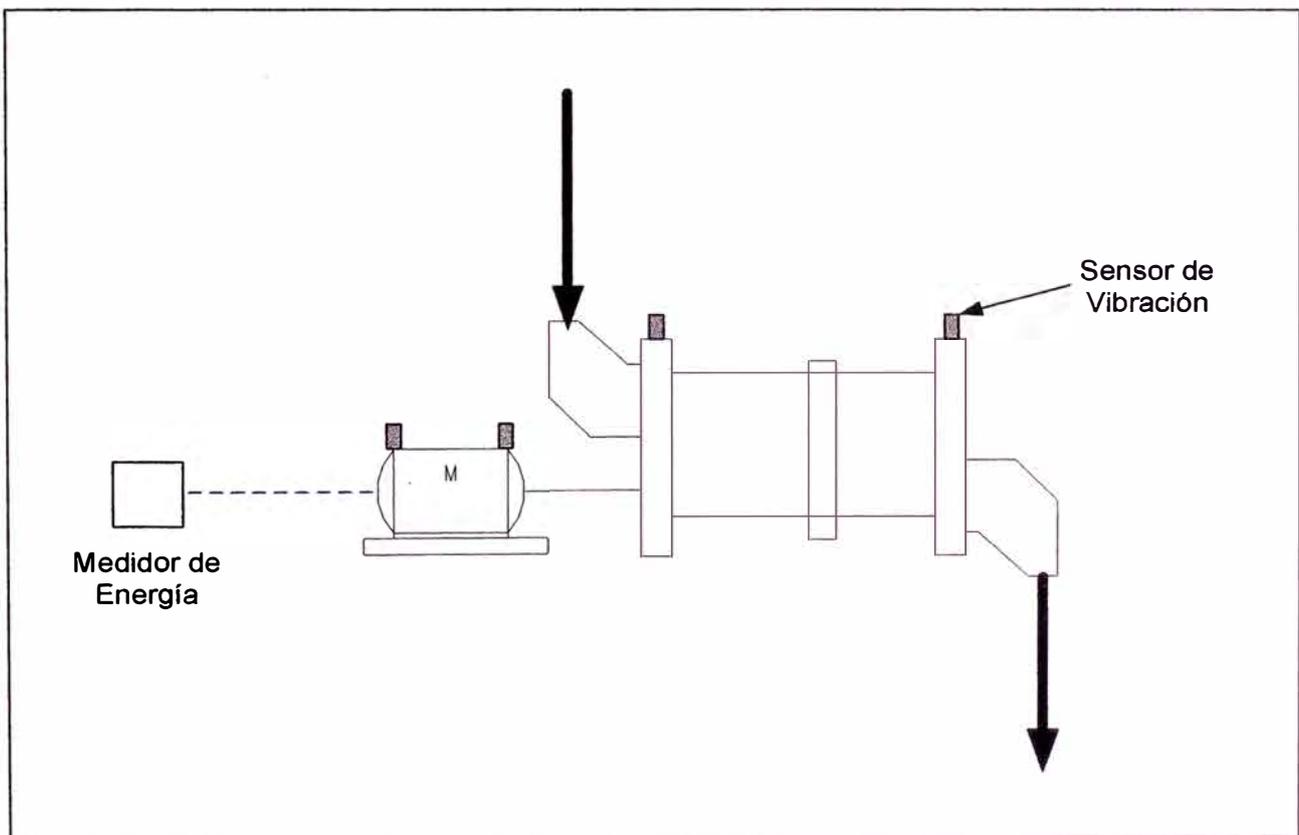


Figura 5.4.- Diagrama de Control del Molino.

5.2 Controlador Lógico Programable (PLC).

La selección de los equipos fue realizada de acuerdo a las condiciones en las condiciones de trabajo y a las condiciones ambientales en las cuales estos trabajarían.

El procesador 1769-L35E, que cuenta con una memoria de usuario de 1.5 MB, un canal integrado EtherNet/IP y una capacidad de E/S locales de hasta 30 E/S módulos, hereda todas las funciones avanzadas de la generación más reciente de procesadores Logix, incluyendo:

- CPU Logix de alto rendimiento con coprocesador integrado de valor con punto flotante (coma flotante) que ofrece el procesamiento de control e información sumamente rápido
- Amplio conjunto de instrucciones de múltiples disciplinas para el control secuencial, de procesos, de movimiento y de variadores de alta velocidad
- Sistema operativo de multitarea en tiempo real CompactLogix™ 1769-L35E
- El modelo de memoria basado en tags cumple con la norma IEC-61131-3 y acepta estructuras de datos multidimensionales definidas por el usuario
- Entorno de desarrollo RSLogix5000 con implementaciones de tecnología al día de lenguajes IEC-61131-3 del diagrama de lógica de escalera, diagrama de función secuencial, texto estructurado y diagrama de bloques de funciones
- Tarjeta de memoria extraíble CompactFlash para el almacenamiento no volátil de códigos y datos de aplicación

Tabla N° 5.2.- Características técnicas del procesador.

	 1769-L35E CompactLogix 5335
Battery-Backed Static RAM	1.5Mbytes
Nonvolatile Memory	64Mbytes (CompactFlash)
Max. I/O Modules	30
Max. Banks of I/O Modules	3
Communication Ports	1 (RS-232-C) 1 (EtherNet/IP)
Network Connectivity	(1)EtherNet/IP RJ-45 Port DeviceNet via 1769-SDN
Program Tasks	8
Minimum I/O Update Period	1ms
Backplane Current	660mA at 5Vdc 90mA at 24Vdc

Para la concentración de datos en el PLC se seleccionaron las siguientes tarjetas en entradas y salidas, esto de acuerdo al tipo de señal que van a recibir.

Tabla N° 5.3.- Disposición de tarjetas en chasis

Slot	Equipo	Código
0	CPU	1769-L35E
	Fuente a 110/220 VAC, (4A @ 5V, 2A@ 24 V)	1769-PA4
1	Combo análogo de 4 entradas y 2 salidas	1769IF4XOF2
2	Combo análogo de 4 entradas y 2 salidas	1769IF4XOF2
3	Combo análogo de 4 entradas y 2 salidas	1769-IA16
4	Tarjeta de entrada digital	1769-IA16
5	Tarjeta de entrada digital	1769-IA16
6	Tarjeta de salida digital	1769-OA8
7	Tarjeta de salida digital	1769-OA8

Del balance de cargas podemos ver que tanto para 24 VDC y 5 VDC, la fuente seleccionada cumple con el requerimiento de carga.

Tabla N° 5.4.- Consumo de energía.

Slot	Equipo	Consumo (mA) 24 V	Consumo (mA) 5 V
0	CPU	90	660
1	Combo análogo de 4 entradas y 2 salidas	160	120
2	Combo análogo de 4 entradas y 2 salidas	160	120
3	Combo análogo de 4 entradas y 2 salidas	160	120
4	Tarjeta de entrada digital	0	115
5	Tarjeta de entrada digital	0	115
6	Tarjeta de salida digital	100	125
7	Tarjeta de salida digital	100	125
Total		770	1500

5.3 Tablero de Control de PLC

El tablero de control se ubica en el MCC, debido a que allí se encuentran la mayor cantidad de señales, por ser un ambiente cerrado, el grado de protección para el tablero es Nema 12, en el están albergados los siguientes equipos:

- Controlador Lógico programable con sus tarjetas de entrada y salida.
- Switch ethernet 10Base-T/100Base-T.
- Modulo conversor de Modbus a Ethernet, para supervisión de medidores de energía.
- Fuente de 24 VAC, para alimentación de los lazos de control.

La alimentación de los equipos viene de una fuente de estabilizada 220 VAC, es por esto que se coloca un transformador a la entrada para bajarlo a 110 VAC. Es necesario llevar el Terminal L2 a la tierra eléctrica. La tensión debe llegar a una llave general, de la cual se reparte hacia cada uno de los equipos; cada equipo tiene su propio circuit breaker, para independizar la alimentación, este se dimensiona de acuerdo al consumo del equipo.

Se coloca un bloque de borneras de distribución de 110 VAC, para la alimentación de los equipos si fuera necesario.

Se coloca un bloque de borneras de distribución a 24 VDC, de manera que podamos alimentar los lazos de los instrumentos con conexión a dos hilos y si lo hubiera instrumentos a 24 VDC.

Las tarjetas de entrada y salida digital son cableadas a bloque terminales de 4mm, el cable a usar es de calibre 16 AWG, del tipo GPT.

Las tarjetas de analógicas son cableadas a borneras porta fusible de 4mm, el cable a usar es de calibre 16 AWG, del tipo GPT.

Se colocan dos barras a tierra, una para la tierra eléctrica y otra para la tierra electrónica. La primera ubicada en la parte inferior del Back Panel y la segunda en una de las paredes laterales.

Todos los cables deben de ser rotulados con una dirección o descripción según sea conveniente, todos los bloques terminales deben de ser enumerados.

5.4 Tablero de Control de Variadores

Breve descripción de cada uno de los tableros.

5.4.1 Tablero de Fajas

El variador seleccionado se encargara del control de velocidad de la faja 1 y la faja 5, ambos motores presentan las mismas características:

Tabla N° 5.5.- Datos de placa motor de fajas.

Parámetro	Und	Valor
Tipo de motor		Inducción
Volt placa motor	VAC	460
Amps placa motor	Amps	11.8
Hz placa motor	Hz	60
RPM placa motor	RPM	1740
Pot. placa motor	HP	10

El variador seleccionado fue de 15 HP (11 KW), el incremento de la potencia fue para contrarrestar el efecto que produce la altitud en los equipos electrónicos, principalmente la disipación del calor, para la operación en modo manual se incluyó un HIM, desde el cual se ingresarán los comandos y la referencia de velocidad. El variador cuenta con comunicación Ethernet, esto a través de una tarjeta 20-COMM-E que se inserta dentro del variador.

Para la protección contra cortos circuitos por el lado de fuerza se colocó un Circuit Breaker de 30A, y para la sobrecarga del motor el rango de corriente fue entre 9 – 12 Amps.

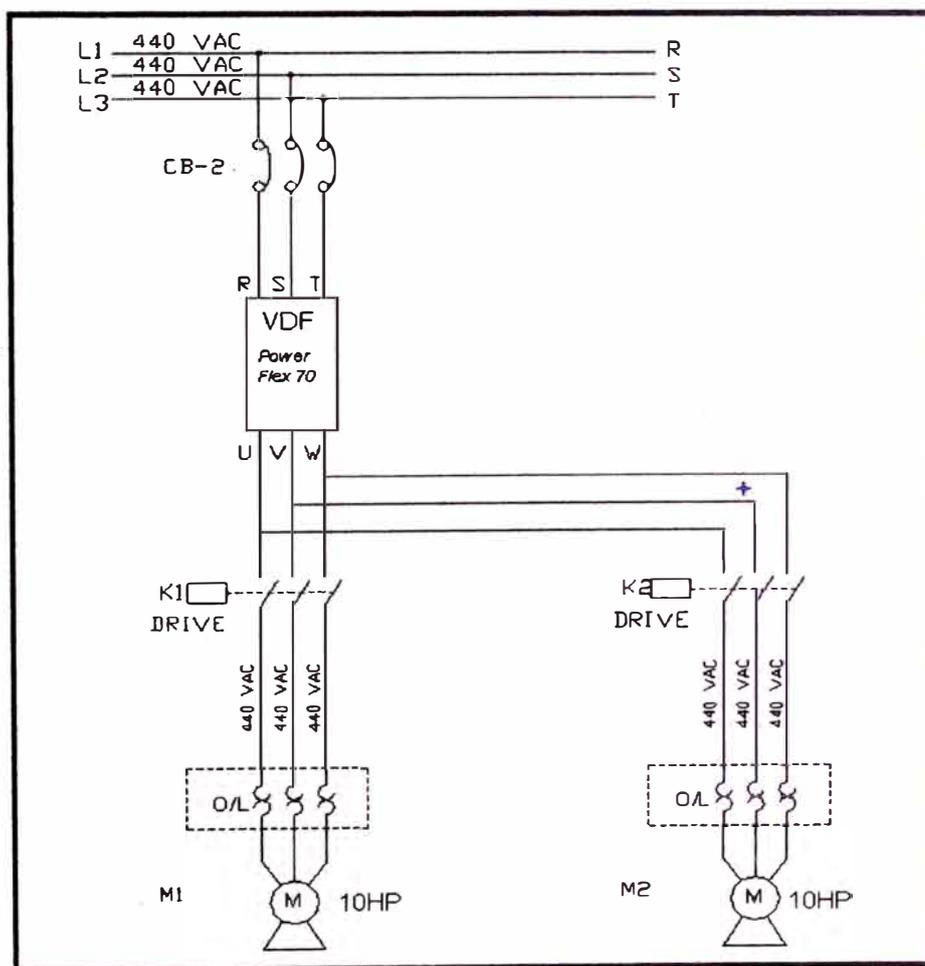


Figura 5.5.- Diagrama de fuerza de Fajas.

El cable de fuerza a usar según la corriente nominal es de calibre 8 AWG. La lógica de control usada para la operación en manual está incluida en el tablero, se usan reles encapsulados de 11 pines con indicación local y borneras de 4 mm, para las conexiones internas.

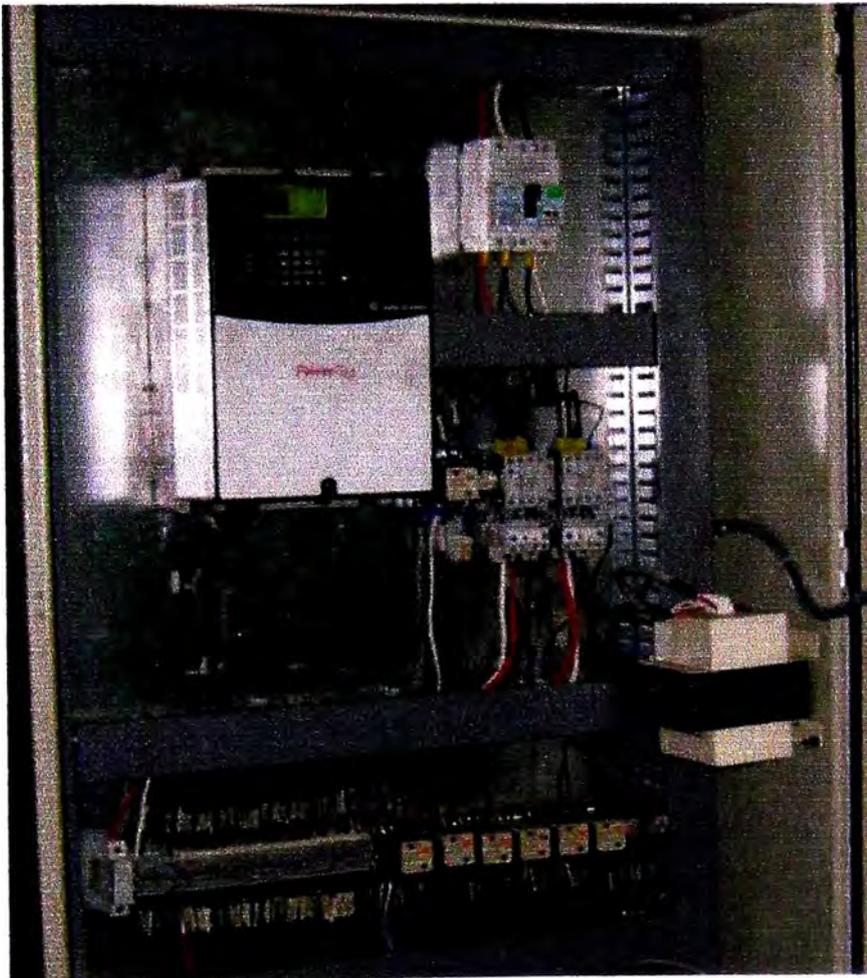


Figura 5.6.- Instalación de equipos en gabinete de fajas.

5.4.2 Tablero de Bombas

Para el control de las bombas se usa un variador de la familia PowerFlex 700, ambas bombas son controladas por el mismo variador. Las características de los motores de las bombas son las siguientes:

Tabla N° 5.6.- Datos de placa motor de bombas

Parámetro	Und	Valor
Tipo de motor		Inducción
Volt placa motor	VAC	460
Amps placa motor	Amps	155
Hz placa motor	Hz	60
RPM placa motor	RPM	1765
Pot. placa motor	HP	125

El variador seleccionado fue de 150 HP (110 KW), el incremento de la potencia fue para contrarrestar el efecto que produce la altitud en los equipos electrónicos, principalmente la disipación del calor, para la operación en modo manual se incluyó un HIM, desde el cual ingresan los comandos y la referencia de velocidad. El variador cuenta con comunicación Ethernet, esto a través de una tarjeta 20-COMM-E que se inserta dentro del variador.

Para la protección contra cortos circuitos por el lado de fuerza se colocó un Circuit Breaker de 250A, y para la sobrecarga del motor el rango de corriente fue entre 120 – 150 Amps.

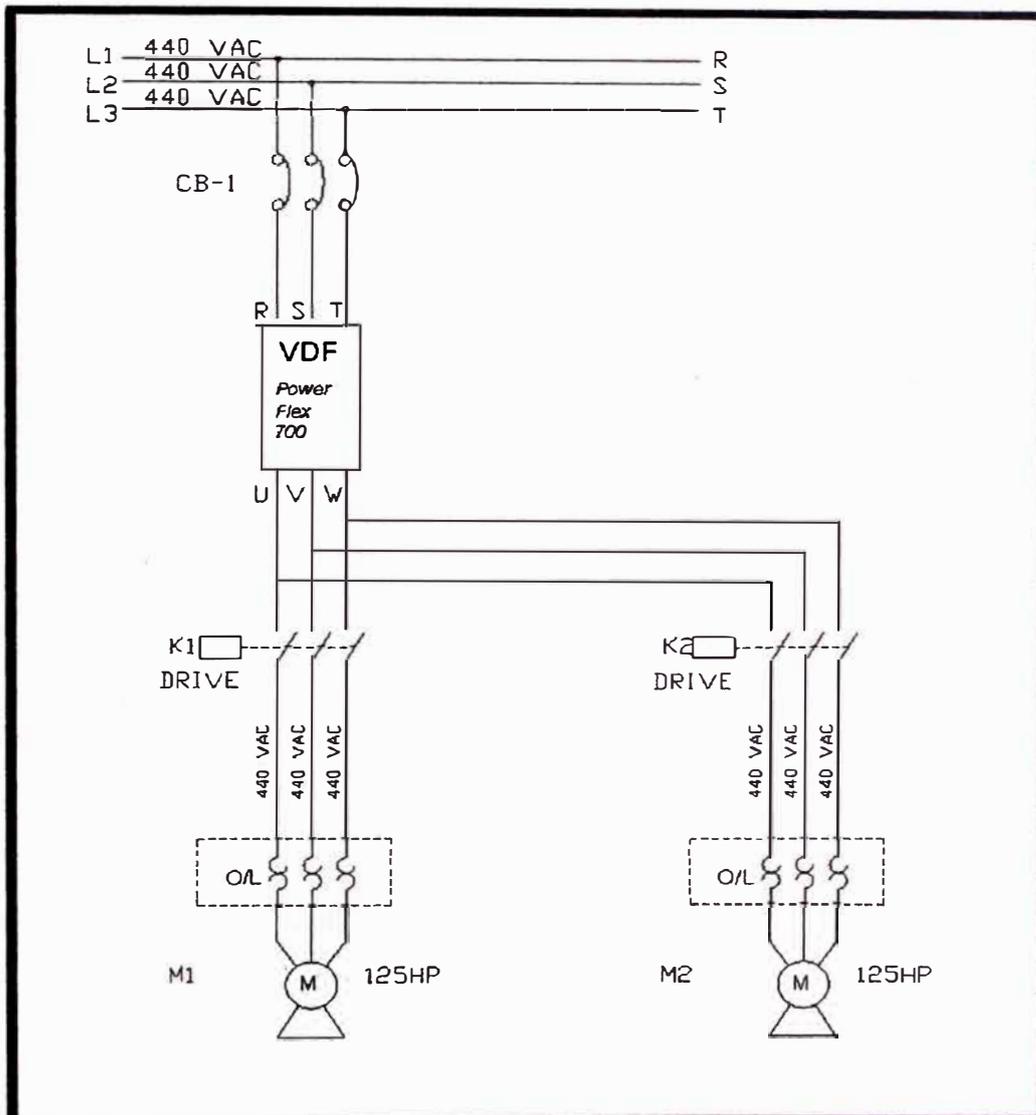


Figura 5.7.- Diagrama de fuerza de Bombas.

El cable de fuerza a usar según la corriente nominal es de calibre 0 AWG. La lógica de control usada para la operación en manual está incluida en el tablero, se usan reles encapsulados de 11 pines con indicación local y borneras de 4 mm, para las conexiones internas.

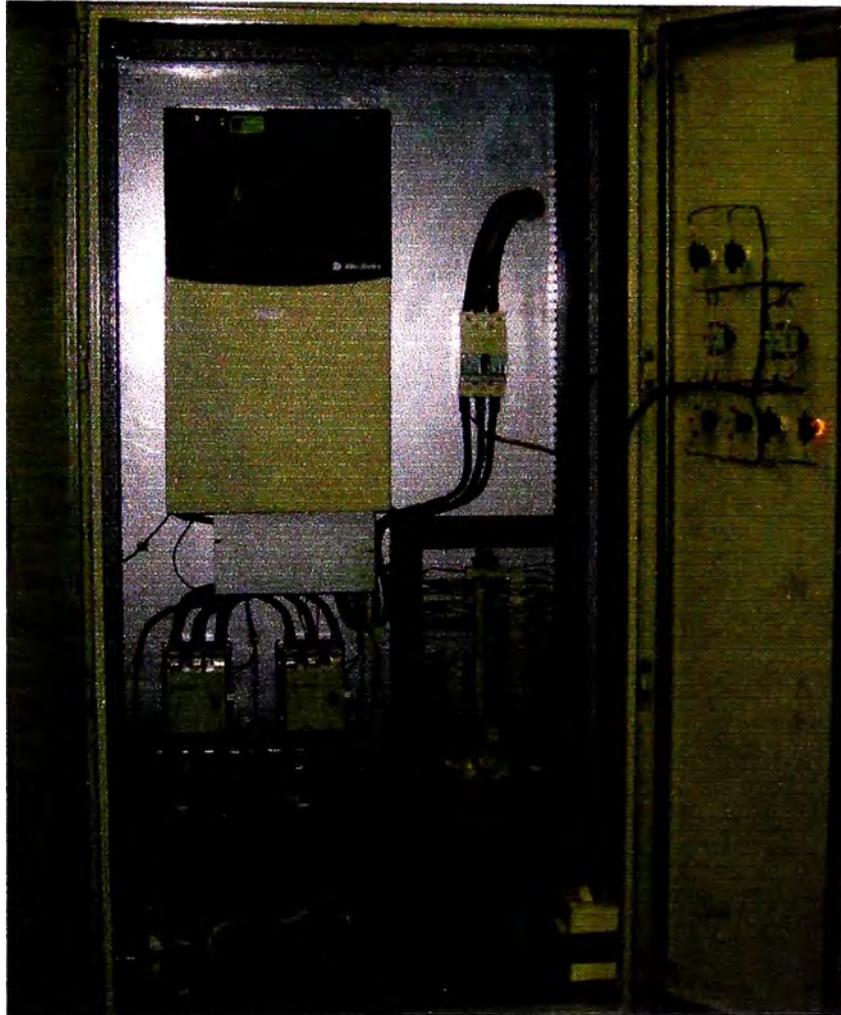


Figura 5.8.- Instalación de equipos en gabinete de bombas.

5.4 Diseño de Reportes

Los datos que se reporten del proceso son enviados por el PLC hacia una base de datos, para esto se han realizado algoritmos específicos en el PLC. Una vez que los datos están en el PLC es necesario llevarlos a una base de datos en este caso Access, pero este software no puede tener acceso a los datos del PLC directamente, por este motivo se usa el software RsLinx, el cual es un servidor OPC; de esta manera, los datos están disponibles en la PC.

Sin embargo, el almacenado de datos del PLC hacia la base de datos necesita de un software que se encargue de hacer las transacciones entre el RsLinx y el Access, este software es el RsSql32 de Allen Bradley, en el se configurara los datos del PLC que queremos llevar a la base de datos además de indicarle hacia que registros escribirán y lo más importante cuando se debe realizar la transacción, para nuestro caso cada fin de turno.

Para la selección de los reportes, es decir el tipo de reportes, las variables a mostrar y la forma como se mostrarían, se prepararon algunos previos antes de la ejecución. Se plantearon principalmente dos tipos de reportes:

5.4.1 Reportes de producción

El cual cuenta con dos hojas, la primera nos da los acumulados de toneladas de mineral, potencia consumida y galones de agua consumidos por el proceso, estos datos serán etiquetados con el turno y la fecha de producción, la búsqueda se hace ingresando una fecha inicial y una fecha final.

La segunda hoja corresponde a los valores máximos, mínimos y el valor promedio registrado en el turno, estos datos están etiquetados con su respectiva fecha y turno para una mejor búsqueda. Los datos mostrados son principalmente densidad, presión, potencia del molino, corriente del molino y voltaje del molino.

Fecha	Turno	Toneladas	KW	Galones
2/3/2005	1	1.138125	117.9891	0.7812042
3/3/2005	1	1.142142	118.3093	0.7790945
4/3/2005	1	1.162393	119.1563	0.7816218
5/3/2005	1	0.8951202	119.0505	0.7836083
6/3/2005	1	0.4720636	118.7123	0.7832894

Figura 5.9.- Reportes de consumo.

5.4.3 Reportes de horas de Operación

Para el mantenimiento preventivo y predictivo de equipos en planta es necesario conocer el tiempo que estos equipos están trabajando, para nuestro caso es importante saber cuántas horas han trabajado las fajas 1 y 5, ya que de alguna manera le da al operador una idea de cual silo esta más lleno y con cual

puede operar. También es importante conocer las horas de funcionamiento de los motores de las bombas y del molino.

Estos reportes se hicieron para un análisis por turno, por día y mensual.

Microsoft Excel - Reporte Horas de Operación.xls

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

Escriba una pregunta

Arial 10

F6C5

1 2 3 4 5 6 7 8 9

1

2 **REPORTE DE HORAS DE OPERACIÓN POR TURNO**

3

4

5 Fecha inicio: 01/03/2005 Fecha Fin: 16/03/2005 Actualizar

6

7

8

9

	Fecha	Turno	Horas de Operación				
			Faja 1	Faja 2	Bomba 1	Bomba 2	Molino
10	3/3/2005	1	0	0.02763884	0.02763884	0	0.02763884
11	4/3/2005	1	0	0.02763884	0.02763884	0	0.02763884
12	5/3/2005	1	0.02138887	0	0.02763884	0	0.02763884
13	6/3/2005	1	0	0.01763889	0.02763884	0	0.02763884
14	6/3/2005	2	0	0.01763889	0.02763884	0	0.02763884
15							
16							

HorasOperxTurno / HorasOperxDia / HorasOperxMes /

NUM. DESP

Figura 5.10.- Reportes de horas de operación.

Capítulo 6

Implementación del Sistema

6.1 Programa de Control

El programa de control fue desarrollado principalmente en lógica ladder, aunque existen algunos lazos de control que fueron diseñados en Function Block. La lógica ladder y los bloques de funciones son tipos de lenguajes de programación que se pueden implementar en el software de programación.

El software de programación usado fue el RsLogix 5000 de Allen Bradley, este software permite el desarrollo de programas para PLC de la familia Logix, a la cual pertenecen los controladores CompactLogix. Los lenguajes de programación disponibles están normados por la ISA.

Podemos apreciar en la **figura 5.1** la estructura del programa, existen dos tareas programadas, la primera es una tarea periódica la cual se ejecuta cada 500 ms, que lleva como nombre Horometros RsSql, esta tarea está principalmente ligada a los datos estadísticos o reportes que se generan en el sistema, en ella se hacen los acumulados de las principales variables a mostrar, así como las horas de funcionamiento de los motores que están presentes en el proceso.

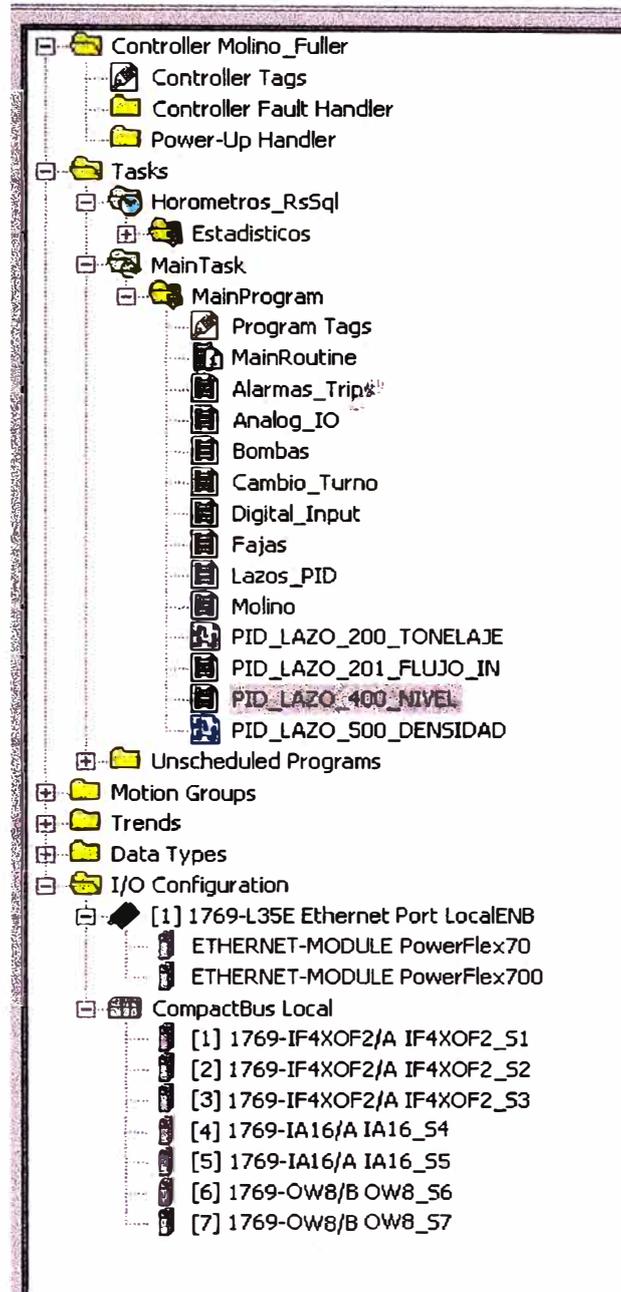


Figura 6.1.- Estructura del programa ladder en el PLC.

Es en el segundo grupo se realiza el control del proceso. Esta tarea es continua, la cual está dividida en rutinas, cada una con una tarea específica, y relacionadas entre sí.

- **MainRoutine:** Realiza las llamadas a las demás subrutinas a través de saltos, es la rutina principal y la primera en ser ejecutada por el PLC,
- **Alarmas_Trips:** En esta parte se encuentran programadas las condiciones que generan alarmas en el proceso tanto digitales como analógicas, así como las condiciones que generan trips y hacen parar el proceso.
- **Analog_IO:** Las señales análogas de entrada y de salidas son escaladas a unidades de ingeniería, también se realizan los Cut-Off a las señales análogas para asegurar que no queden fuera del rango de trabajo.
- **Bombas:** Esta rutina contiene la lógica de control para el arranque y parada de las dos bombas.
- **Cambio_Turno:** Rutina que contiene la sincronización entre la PC y el PLC, además de hacer un registro de las horas de operación en cada cambio de turno.
- **Digital_Input:** Se realiza la asignación de las variables físicas de entradas y salidas digitales a memoria del PLC.
- **Fajas:** En esta rutina se realiza el control del arranque y parada de las cinco fajas presentes en el proceso.
- **Lazos_PID:** En esta rutina están programados los lazos de control PID.
- **Molino:** Esta rutina contiene el sistema de control del molino así como las trips que hacen que el sistema pare.
- **PID LAZO_200_TONELAJE:** Es la primera rutina implementada en function block, en esta se encuentra el lazo de control de ingreso de mineral.

- **PID_LAZO_201_FLUJO_IN:** Esta rutina contiene el controlador PID para el lazo de ingreso de agua hacia el molino.
- **PID_LAZO_400_NIVEL:** Contiene el lazo de control de nivel para los tanque de descarga a la salida del molino.
- **PID_LAZO_500_DENSIDAD:** Segunda rutina programada en funtion block, contiene el controlador de densidad implementado para el proceso.

Todos los equipos que participan en el proceso presentan sus propias rutinas, esto fue para una rápida inspección y revisión de problemas en el proceso.

6.2 Desarrollo de Planos

Los planos corresponden a una representación gráfica estandarizada que incluye todos los dibujos y detalles producidos por Ingeniería para un trabajo específico y que requieren ser emitidos como documentos de trabajo. Son emitidos en formato A3, A2, A1 ó A0 (ver tabla 4.2) bajo la codificación especificada. El formato de archivo de grabación es la versión Autocad 2000.

Todas las modificaciones de planos o cuando se presente la oportunidad de desarrollar un plano nuevo este debe de contar con la codificación definida en la tabla 6.2.

6.2.1 Formato de Tamaño de Planos.

El formato estándar de los archivos de dibujo a ser usados en los Proyectos, son los siguientes.

Tabla N° 6.1.- Tamaño de planos.

Tamaño	Dimensiones [mm]
A0	840 x 1188
A1	594 x 840
A2	420 x 594
A3	297 x 420
A4	210 x 297

6.2.2 Codificación de Planos

Para una mejor comprensión de los planos se detalla la codificación usada.

AA-BBBBBBBB-CCC-DD-EEE

A: Tamaño del plano (A0, A1, A2, A3, A4)

B: Número de Proyecto (Nro. de PO, OS, OT ó AR)

C: Áreas (de acuerdo a la información del cliente)

D: Disciplina

E: Número correlativo de 3 dígitos.

Tabla N° 6.2.- Codificación de planos.

Código de Disciplina	Descripción
12	Flowsheets
17	General Arrangement
19	Details
22	Arquitectural
35	Concrete
36	Steel (structural)
42	Civil
54	Mechanical
56	Piping Isometric
57	Piping General
60	Electrical Diagram (One Line)
62	Electrical Equipment Layout
63	Grounding Layout
64	Lighting Layout
65	Power and Control Layout
66	Wiring Diagram
67	Schematic Diagram
69	Termination Diagram
70	Instrument Diagram P&IDs
74	Installation Detail
75	Instrument Location Layout
76	Loop Diagram

6.3 Comisionamiento de señales en Vacío

El PLC, que contiene las tarjetas de entradas y salidas que se usan para el control del proceso, debe ser cableado en un tablero, el que es llamado el tablero de control, estas señales deben de llegar a borneras fronteras, las cuales deben de ser enumeradas y marcadas con su respectiva dirección de acuerdo a la base de datos.

Antes de ser instalado y conexionado en campo, el tablero es comisionado y simulado en el taller para asegurar que todas señales que el PLC reciba son las correctas, en caso surgiera algún problema estaremos seguros que no es un problema del cableado interno del tablero o de las tarjetas.

6.3.1 Comisionamiento de entradas digitales.

Las señales digitales llegan al PLC a través de una tarjeta de entrada digital a 110 VAC, el mapeo de estas señales a la base de datos del PLC es directo, es decir con solo configurar la tarjeta los canales son adicionados automáticamente en la base de datos del PLC, para poder hacer una simulación del sistema es necesaria una fuente alterna de 110VAC.

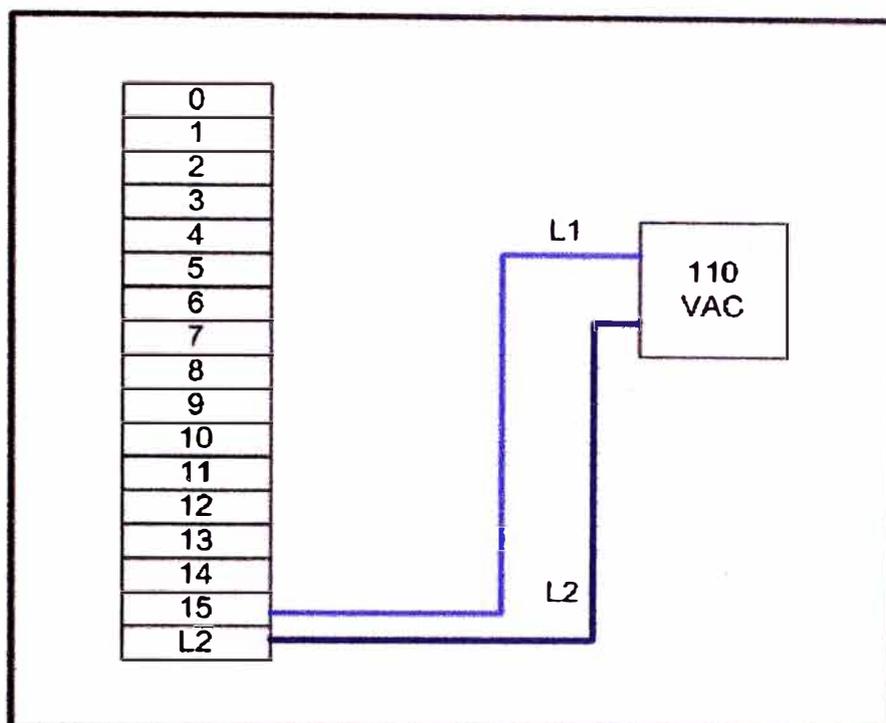


Figura 6.2.- Comisionamiento de una entrada digital.

Los comunes de las señales digitales están puenteadas internamente, solo es necesario mover el lado L1 para simular las señales. La forma más fácil de asegurarnos que la señal es la correcta, es mirando los leds indicadores en el lado frontal de la tarjeta, estos se encienden cuando existe en sus terminales una tensión de 110 VAC, pero esto no es suficiente pues se debe de visualizar en el ladder que la señal también se activa de esta manera, aseguramos que la señal llega al PLC, pero esto tampoco es suficiente. Es necesario probar que la señal llega al Panel de operador y al Sistema de supervisión y asegurar que la conexión entre el PLC y los anteriores mencionados está correcta.

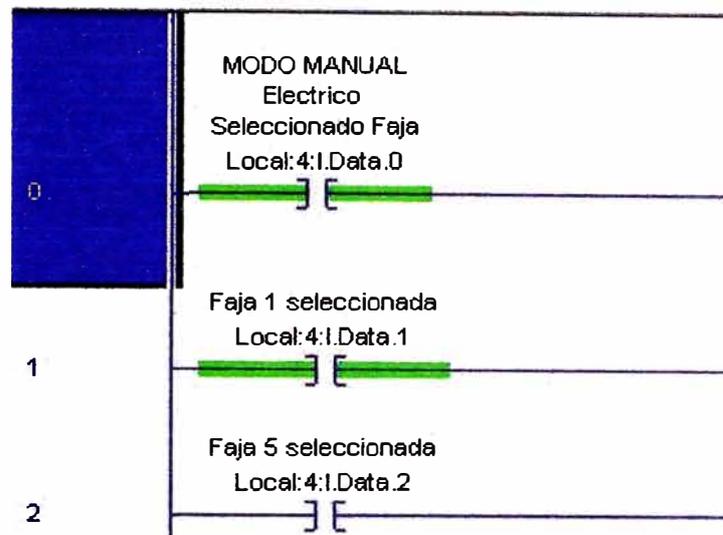


Figura 6.3.- Visualización de una entrada digital en PLC.

6.3.2 Comisionamiento de Salidas digitales.

Las salidas digitales son del tipo rele, esto quiere decir que presentan un contacto seco de salida, en teoría podemos excitarlos con cualquier tipo de nivel de tensión, pero las tarjetas que se usaron son del tipo no aisladas, esto quiere decir que tienen un punto en común, de manera que solo usaremos un nivel de tensión para todas las salidas.

Al tener este inconveniente se optó por usar la tensión de salida similar al de las entradas digitales, es decir 110VAC, con la idea de uniformizar y además a que algunos dispositivos que debíamos de comandar tenían bobinas a 110VAC.

Para la simulación de estas señales es necesario también usar una fuente externa de 110 VAC y un multímetro, además de una Laptop con el software de programación, el software de supervisión y el panel de operador

debidamente programado de manera que podamos enviar comandos y verificar si el PLC envía la orden respectiva a la tarjeta de salida digital.

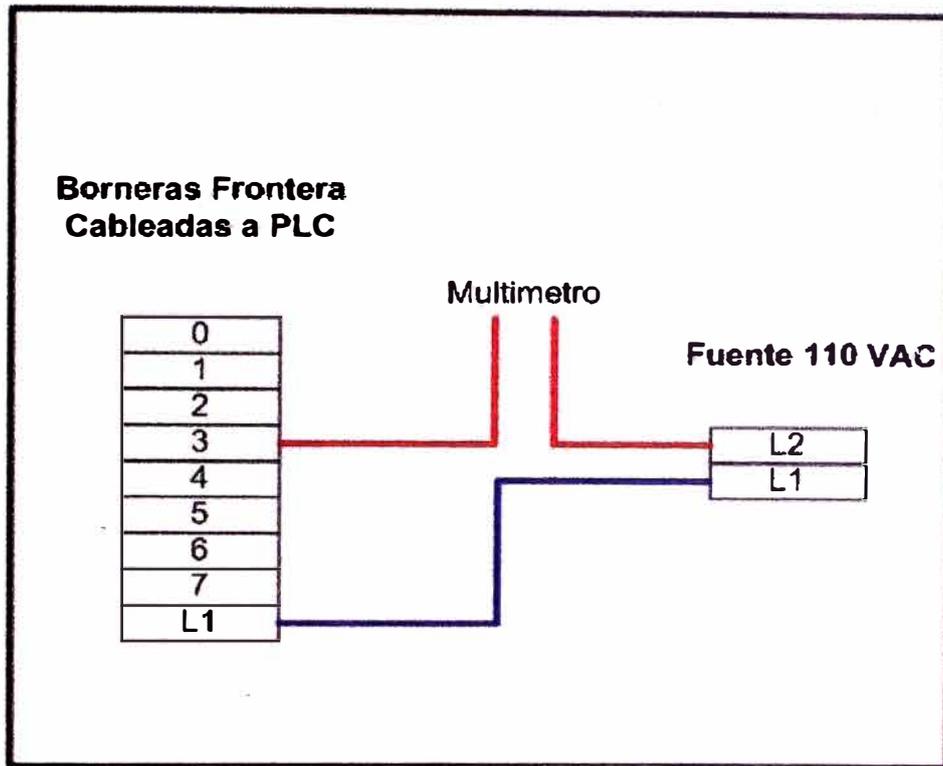


Figura 6.4.- Comisionamiento de salida digital.

El proceso de simulación consiste primeramente en forzar la salida digital desde el PLC, esto se hace directamente poniendo el valor de "1", el led indicador que se encuentra en la tarjeta se activa y esta es la forma mas fácil de visualizar el comando, pero lo mas importante es comprobar en el multímetro que el nivel de tensión es 110 VAC, la misma prueba debe de hacerse con todas las salidas.

Local 7:0.Data	2..	(...)	AD.1703_PU0.0.1
Local 7:0.Data.0	1		Binary SINT
Local 7:0.Data.1	0		Decimal BOOL
Local 7:0.Data.2	0		Decimal BOOL
Local 7:0.Data.3	0		Decimal BOOL
Local 7:0.Data.4	1		Decimal BOOL
Local 7:0.Data.5	0		Decimal BOOL
Local 7:0.Data.6	0		Decimal BOOL
Local 7:0.Data.7	0		Decimal BOOL

Figura 6.5.-Visualización de salida digital.

Una vez comprobado esto podemos realizar la prueba desde el panel de operador y la PC de supervisión, para asegurar que los comandos realizados lleguen al PLC y a la salida respectiva.

6.3.3 Comisionamiento Señales Analógicas

Para el comisionamiento de las entradas analógicas usaremos un generador de 4-20 mA, de esta manera podemos simular la señal de un instrumento, las salidas del generador se conecta directamente hacia las borneras de la tarjeta análoga en los canales de entrada, la simulación consiste en generar señales de 0%, 25%, 50%, 75% y 100%, estas señales deben de poder observarse en el software de programación del PLC, para esto el software debe de estar en modo online.

Las señales deben de poder observarse también en el panel de operador y en el sistema de supervisión para asegurar que las señales están correctamente direccionadas.

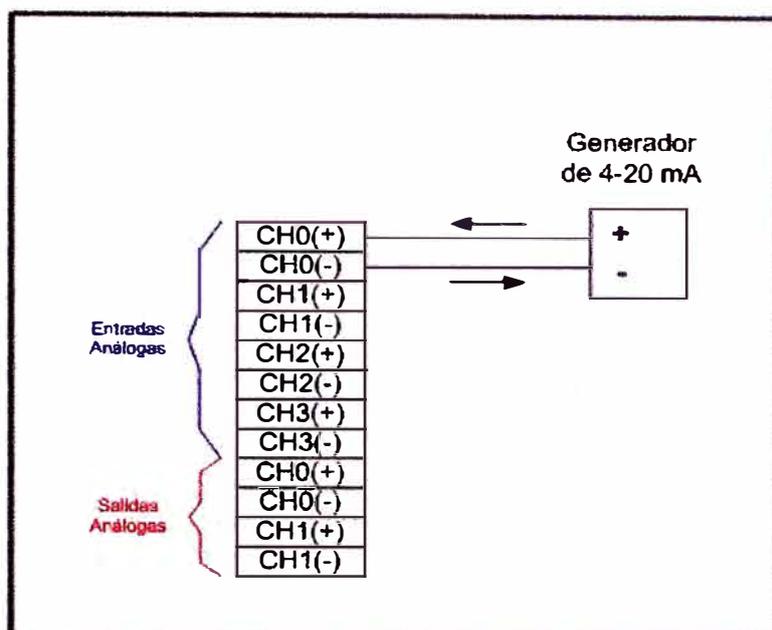


Figura 6.6.- Estructura del programa ladder en el PLC.

El comisionamiento y simulación de las salidas analógicas es muy similar al de las entradas, solo que para este caso utilizaremos un multímetro, el cual se coloca directamente al canal de salida analógica que queremos ver. Desde el software de programación escribimos a la salida valores porcentuales según la tabla.

Tabla N° 6.3.- Valores de Prueba

%	mA
0	4
25	8
50	12
75	16
100	20

Los valores que debemos de apreciar en el multímetro aparecen al lado derecho de la tabla, de esta manera aseguramos el correcto funcionamiento y

la calibración de las tarjetas, esta prueba también se hace desde la PC de supervisión y desde el Panel de operador.

6.4 Red Industrial

La arquitectura diseñada para este proceso es centralizada, es decir todas las señales tanto analógicas y digitales serán cableadas directamente hacia el Controlador Lógico Programable (PLC), pero hay señales importantes para la supervisión y el mantenimiento de los equipos que solo pueden ser llevados a la estación de supervisión a través del tendido de una red industrial, la red usada en este proyecto fue Ethernet/IP.

Los equipos usados en la red así como las respectivas direcciones IPs se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 6.4.- Direcciones IP

Equipo	Dirección IP
Estación de Supervisión	172.16.0.160
Compact Logix (PLC)	172.16.0.165
Panel de Operador	172.16.0.166
Variador de Fajas	172.16.0.167
Variador de Bombas	172.16.0.168
Convertor Ethernet a Modbus	172.16.0.169
Medidor de Energía	172.16.0.170

De los equipos listados en la tabla podemos mencionar lo siguiente:

- **Estación de Supervisión:** Es una PC convencional, la cual cuenta con dos tarjetas Ethernet, la primera para comunicación con la red industrial y recibir datos del PLC, el medidor de energía y el módulo conversor, Modbus Ethernet, la segunda para comunicación con la red administrativa de la mina.
- **Compact Logix (PLC):** El procesador del PLC cuenta con un puerto serial con protocolo DF1, el cual es propietario y un puerto Ethernet, al cual se le asigna una dirección IP por software.
- **Panel de Operador:** Principalmente para operación directa del operador, el panel cuenta con un puerto Ethernet, el cual es configurado desde el equipo.
- **Variador de Fajas:** Al igual que el variador de fajas, se comunica con los demás equipos de la red a través de una tarjeta 20-COMM-E, la cual es insertada en el variador, la asignación de la dirección se hace a través del HIM que está en el panel frontal.
- **Variador de Bombas:** Similar al anterior.
- **Conversor Ethernet a Modbus:** Este equipo es usado para la visualización de datos eléctricos de algunos equipos que participan en el proceso, los cuales cuentan con comunicación **MODBUS**.
- **Medidor de Energía del Molino:** Siendo el molino el equipo de mayor consumo, era necesario comprobar su consumo, este medidor es un **Power Monitor II**, el cual cuenta con comunicación ethernet, la asignación de la dirección así como la configuración del equipo se hacen a través de un software llamado RsPower 32.

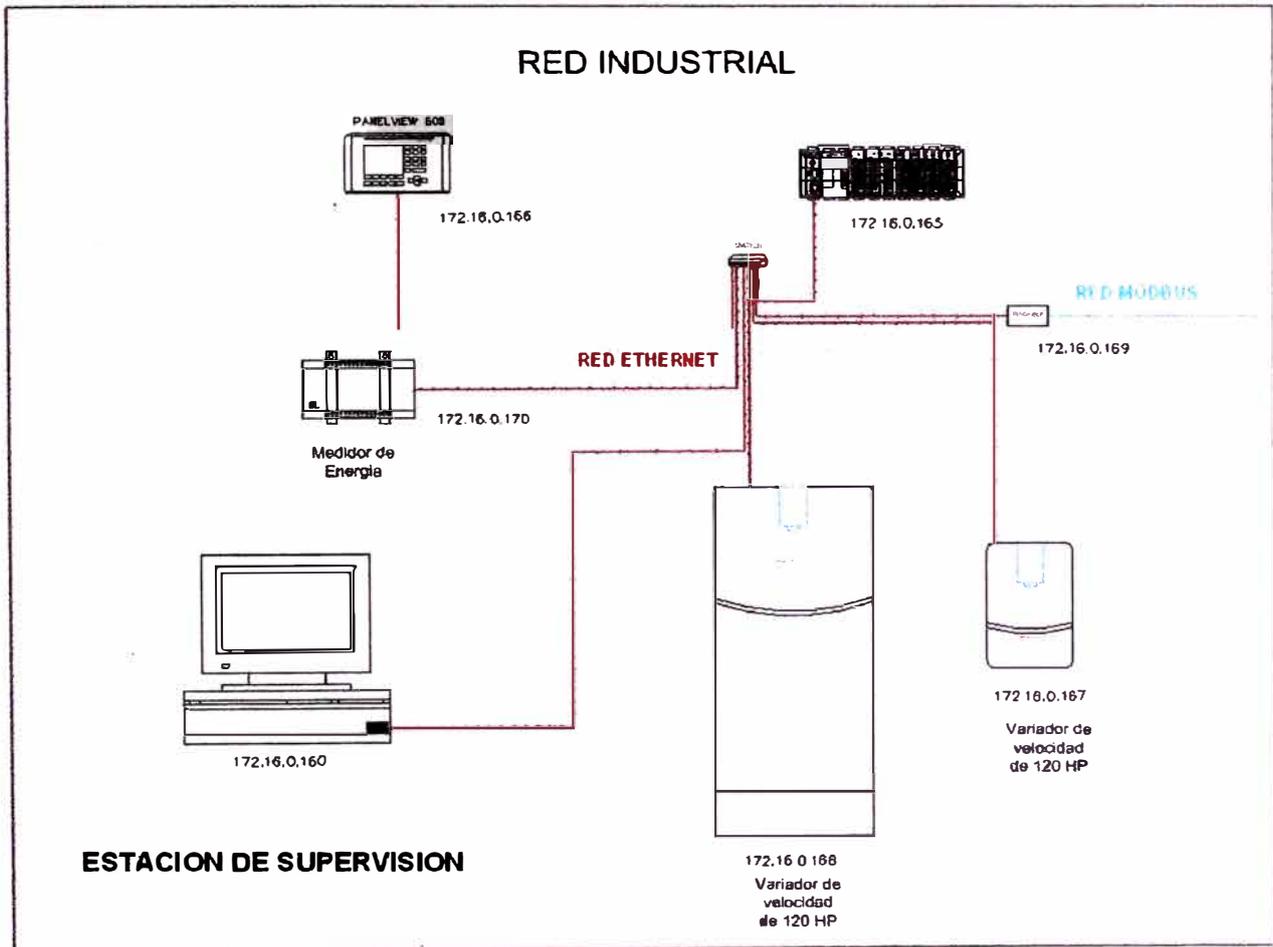


Figura 6.7.- Red Industrial implementada.

6.5 Sistema de Supervisión

Este sistema fue desarrollado en RSVIEW 32, que es un software SCADA, desde donde el operador tiene acceso a todas las variables del sistema en tiempo real, además de poder comandar el arranque y parada de todos los motores presentes en el proceso. A continuación, una breve descripción de las principales pantallas de supervisión.

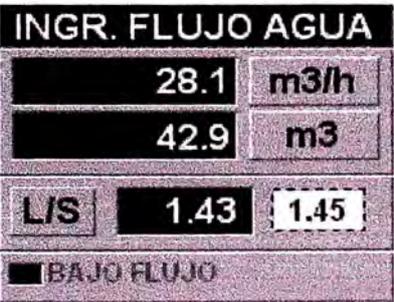
6.5.1 Pantalla de Control de Fajas

La presente pantalla permite al operador el arranque y la parada de cada una de las cinco fajas, esto de acuerdo a la filosofía de control que fue explicada, además de poder operar el lazo de peso de mineral que ingresa al molino y la cantidad de agua en la entrada. Cuando las fajas están arrancadas el color del contorno cambia a color rojo como es el caso de las fajas 1, 2 y 3, y cuando están paradas como la faja 4 y 5, el color cambia a rojo.



En esta parte del sistema de supervisión podemos apreciar el porcentaje de salida del variador de velocidad, además existe un led y un texto, cuando el variador esta en modo automático el texto cambia a **AUTO** y el led se pone de color verde, cuando el variador esta en manual, el texto cambia a **MANUAL** y el led a rojo. También esta parte de la pantalla nos

	<p>muestra un led de FALLA VARIADOR, ante una falla en el variador el texto se pondrá de color negro y el led de color rojo.</p>
 <p>The image shows a control panel with a black header containing the text 'TOLVA 3' in white. Below the header is a grey rectangular area with the text 'SELECCIONADO' in black.</p>	<p>Este recuadro se encuentra presente sobre los Silos. Nos indica con qué Silo estamos trabajando, en este caso estamos trabajando con el Silo o tolva 3 por eso podemos ver la palabra SELECCIONADO, en caso no estemos trabajando con el silo observaríamos la palabra NO SELECCIONADO.</p>
 <p>The image shows a control panel with a black header containing the text 'FAJA 4' in white. Below the header is a grey rectangular area with a small black square icon followed by the text 'PARADA EMERGENCIA' in black.</p>	<p>Este recuadro es común tanto para la faja 2, 3 y 4, en el podemos ver la un mensaje PARADA EMERGENCIA, cuando hay una parada de emergencia automáticamente el led cambia a color rojo.</p>
 <p>The image shows a software window titled 'CONTROL DE MOTOR' with a sub-header 'CONTROL DE MOTOR FAJA 2'. The main area contains the text 'PARADA EMERGENCIA SOBRECARGA' on the left and a red-outlined motor icon on the right. At the bottom, there are three buttons: a green 'START' button, a red 'STOP' button, and a yellow 'RESET' button.</p>	<p>Al hacer clic en el recuadro anterior aparece la siguiente pantalla para el control de las fajas, en la parte inferior un botón verde “START” para el arranque de la faja, un botón rojo “STOP” para detener el motor y un botón amarillo “RESET” para resetear las fallas.</p> <p>En el siguiente grafico podemos ver que el motor de la faja 2 no ha sido arrancado esto</p>

	<p>debido al color rojo del contorno alrededor del grafico, si este color fuera verde entonces nos indicaría que la faja ha sido arrancada.</p> <p>Además podemos ver dos alarmas, la primera es la parada de emergencia y la segunda referente a la sobrecarga del motor, esta señal es obtenida del rele de sobrecarga.</p>
	<p>El siguiente recuadro muestra el flujo instantáneo de agua que ingresa al molino expresada en m³/h, además del volumen de agua que ha ingresado al molino en el turno.</p> <p>En la parte inferior podemos ingresar a relación Sólido / Líquido con la cual queremos trabajar, esto en el recuadro de color blanco, en el recuadro negro observamos la relación sólido líquido en tiempo real.</p> <p>Finalmente un led, el cual cambia a color rojo cuando existe una alarma de bajo de flujo.</p>
	<p>Muestra el tonelaje por hora de mineral que ingresa hacia el molino, además de las toneladas de mineral acumulados en el presente turno.</p> <p>En la parte final se muestra una alarma por bajo tonelaje.</p>

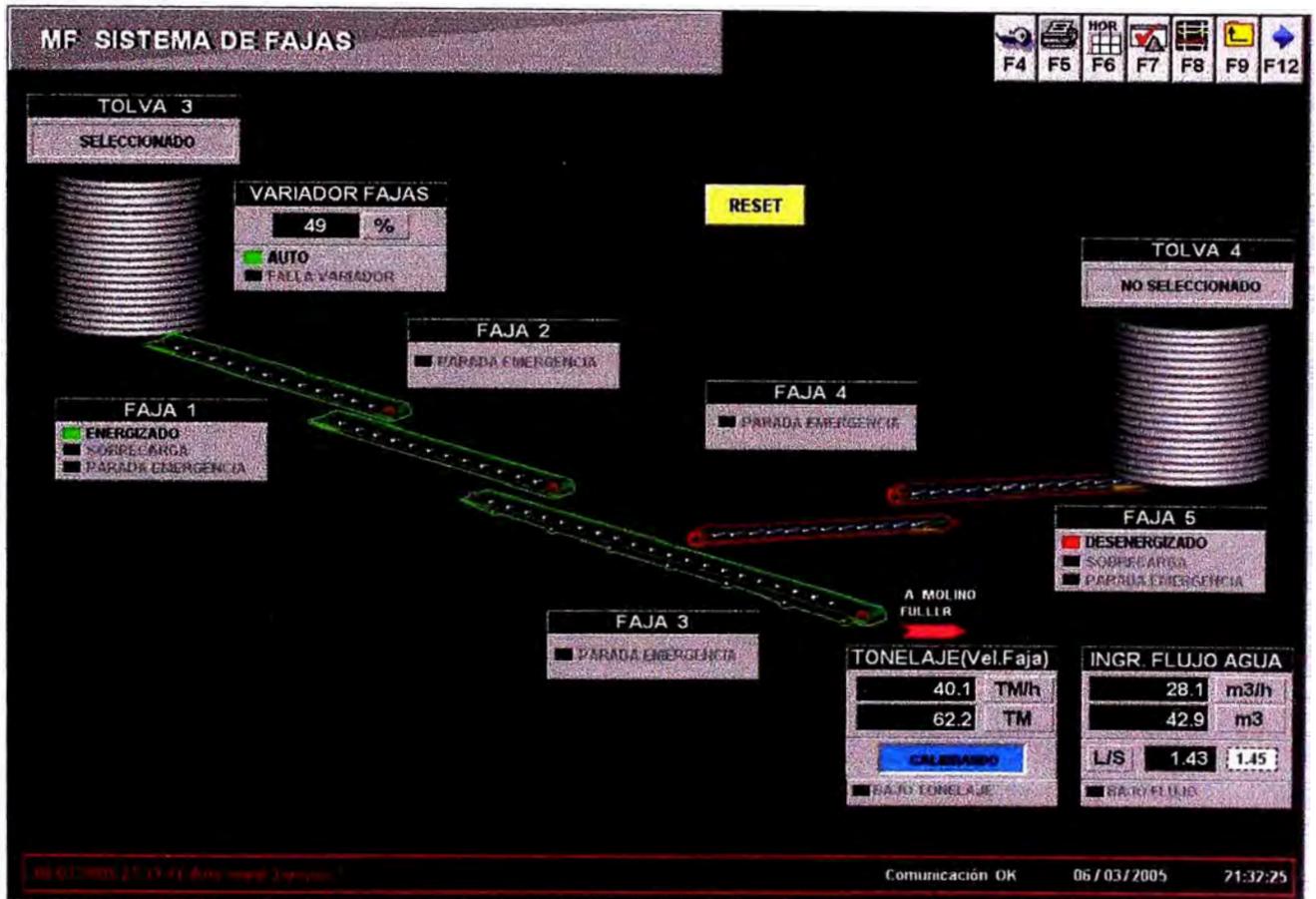
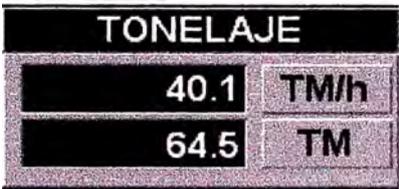
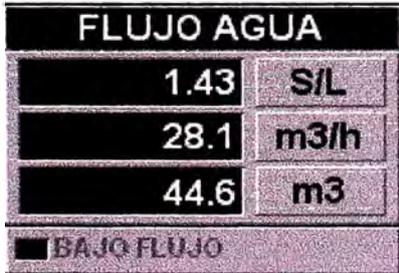


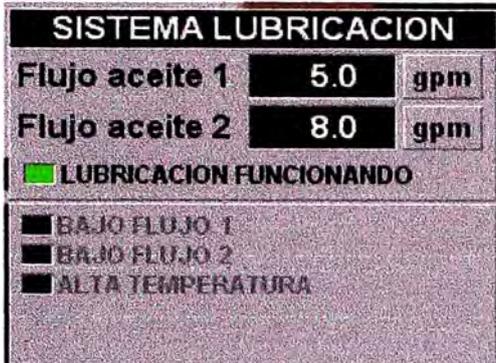
Figura 6.8.- Pantalla de Control de fajas.

6.5.2 Pantalla Molino

Esta pantalla nos muestra los principales lazos de control, así como las señales que indican el status del proceso. A continuación, una breve descripción.

	<p>En este recuadro se pueden apreciar los valores de Toneladas por hora y el total acumulado, este valor se resetea automáticamente cada cambio de turno</p>
	<p>Indicador de la relación Sólido / Líquido en tiempo real, además del flujo de agua y el acumulado de agua durante un horario de producción.</p> <p>En la parte inferior muestra una alarma por bajo flujo.</p>
	<p>En el presente recuadro podemos ver la presión en la línea de pulpa antes de ingresar al separador gravimétrico (Hidrociclón), en la parte inferior podemos observar una alarma por baja de presión.</p>
	<p>Indicador del porcentaje de apertura de la válvula de agua a la salida del molino, este</p>

	expresado en %
	<p>Este recuadro nos lleva a la pantalla de control de regulación de densidad, podemos apreciar además el valor de la densidades tiempo real, así como un indicador de “Densidad Estable” cuando la densidad es mayor que 1400 g/l, en otro caso el indicador cambia a “Densidad Inestable”</p>
	<p>Este recuadro nos lleva a la pantalla de control de nivel de los Tanques de descarga a la salida del molino, además nos indica el nivel de los tanques.</p> <p>Podemos apreciar indicadores por alarmas de nivel alto y nivel bajo, y un trip por muy bajo nivel.</p>
	<p>Las señales de de los sensores de vibración son mostradas aquí, esto tanto del motor como del molino, además indicadores de las alarmas por alta vibración.</p>



Indicadores de flujo de aceite en el sistema de lubricación, además de un indicador que muestra el status del sistema de lubricación.

En la parte inferior podemos apreciar alarmas por bajo flujo y un indicador de alarma por alta temperatura en el motor.



Indicador del % de salida del variador de velocidad, este porcentaje es referente a la frecuencia del mismo, presenta indicadores de tipo de control “Manual” y “Automático”, además una alarma de falla en el variador.



Este recuadro lanza la pantalla de control de bomba, pero adicionalmente a esto podemos observar el estado de la bomba y una alarma por sobrecarga.



Esta pantalla no permite realizar los comandos de arranque “START”, parada “STOP” y reseteo de falla “RESET”, también nos muestra una indicación del status de la bomba, si es verde la bomba esta arrancada, si esta de rojo la bomba esta parada.

Tenemos además indicaciones del status y el modo de trabajo.

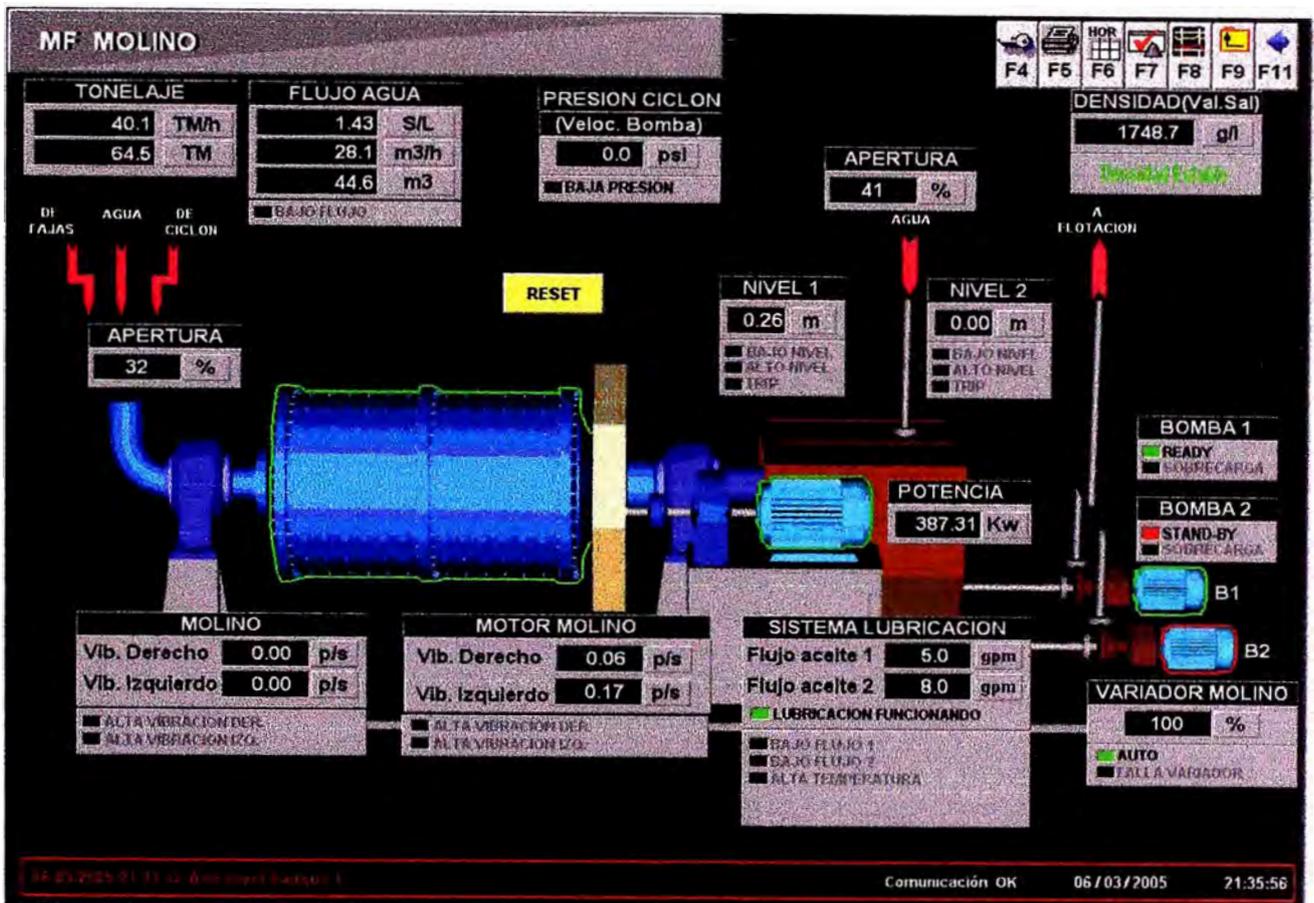


Figura 6.9.- Pantalla de Control y Supervisión del molino.

6.5.3 Sub Pantallas

- Pantalla de control PID:** Esta pantalla presenta dos modos de operación, el cual se puede cambiar desde el botón que se encuentra en la parte inferior de la misma. los modos son “**MANUAL**” y “**AUTOMATICO**”. En manual el operador puede ingresar directamente la salida del actuador en porcentaje, el recuadro de Setpoint queda inhabilitado, en Modo automático, la salida hacia el actuador es regulado por el lazo, el operador solo ingresa el setpoint

que se debe de alcanzar, podemos apreciar también barras que muestran el porcentaje de las variables.

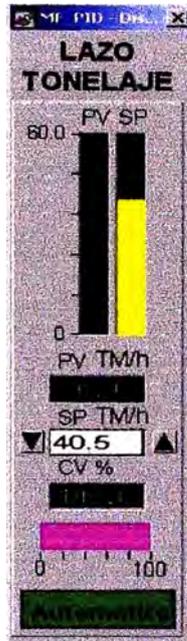


Figura 6.10.- Pantalla de control de Lazos.

- **Pantalla de parámetros de variadores:** Esta pantalla muestra las principales variables presentes en el variador de velocidad.

PowerFlex 70	
FRECUENCIA SALIDA	0.0 HZ
FRECUENCIA COMANDO	48.4 HZ
INTENSIDAD SALIDA	0.0 A
TENSION SALIDA	0.0 VAC
POTENCIA SALIDA	0.0 KW
COS PHI SALIDA	0.0
MWH ACUMULADO	0.9 MWH
TENSION BUS CC	627.0 VCC

Figura 6.11.- Estructura del programa ladder en el PLC.

- **Pantalla de parámetros de Históricos:** Esta pantalla muestra el histórico de algunas señales importantes, estas fueron agrupadas en 3 pantallas, y tienen un tiempo de almacenamiento de 10 días.

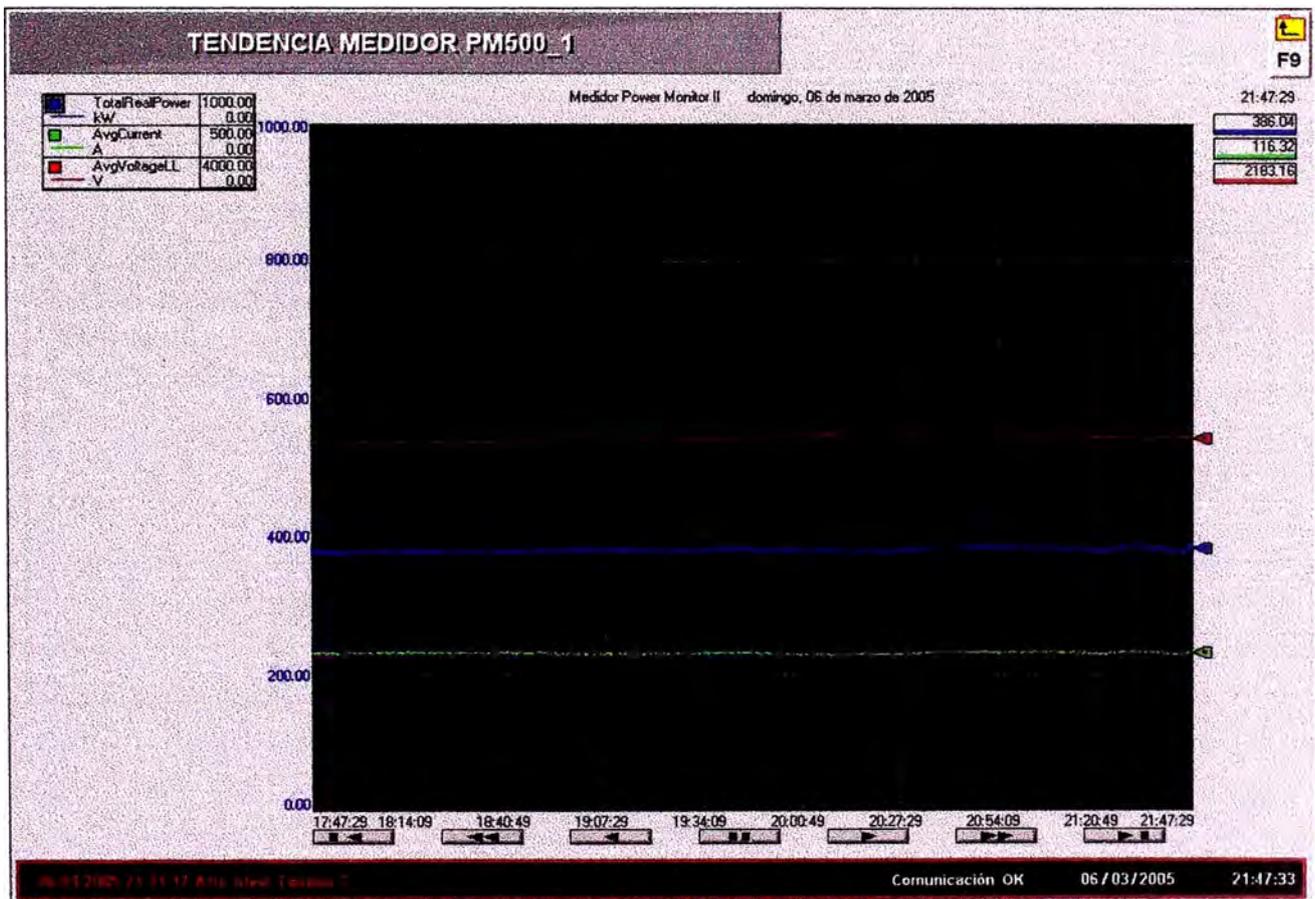


Figura 6.12.- Pantalla de históricos del Molino.

6.6 Base de Datos

En todo proceso de automatización es importante tener bien definida el listado de entradas y salidas que son parte de la lógica de control del proceso,

A continuación se muestra la leyenda para la lectura correcta de estas señales.

Tabla N° 6.5.- Leyenda de Direcciones de CompactLogix

ITEM	DEFINICION
Dirección CompactLogix	<p>La nomenclatura de las direcciones se identifica de la siguiente manera: Local:1:I.Data.0</p> <p>Local : Representa el nombre del nodo del controlador 1 : Representa el Slot donde está ubicado el módulo E/S I : Indica si es una entrada o salida Input/Output Data : Representa si es E/S digital o análoga Data/ChXData 0 : Indica que punto o canal del módulo E/S</p>

6.6.1 Listado de Tarjetas

Según la arquitectura planteada, el PLC está conformado por los módulos listados. A continuación, cabe indicar que las tarjetas análogas contienen entradas y salidas, en cada una de ellas se puede encontrar 4 entradas y 2 salidas, las cuales solo son de corriente en el rango de 4-20 mA.

Tabla N° 6.6.- Resumen de Tarjetas en PLC

Chasis	Slot	Módulo	Descripción	Ptos.	Ptos. Usad.	Ptos. Libr.
	0	1769-L35E	CPU de 1.5MB con procesador Ethernet			
	1	1769-IF4XOF2	Módulo entradas y salidas analógicas	6	6	0
	2	1769-IF4XOF2	Módulo entradas y salidas analógicas	6	6	0
	3	1769-IF4XOF2	Módulo entradas y salidas analógicas	6	4	2
	4	1769-IA16	Módulo entradas digitales 110 VAC	16	16	0
	5	1769-IA16	Módulo entradas digitales 110 VAC	16	15	1
	6	1769-OW8	Modulo salidas digitales tipo rele	8	7	1
	7	1769-OW8	Modulo salidas digitales tipo rele	8	4	4

6.6.2 Listado de Entradas y salidas

Según la arquitectura planteada el PLC está conformado por los módulos listados.

Las siguientes páginas comprenden el listado de entrada / salida de instrumentos asociados con el proceso. La siguiente leyenda describe cómo se debe leer la lista de entrada / salida de instrumentos.

Tabla N° 6.7.- Leyenda de Descripción de Entradas y Salidas

Item	Definición
Tarjeta	Indica el tipo de tarjeta y en que slot del chasis del PLC está ubicada.
Canal	Indica el canal asignado en la tarjeta ya sea para entrada/salida.
Dirección	Indica la dirección asignada a cada canal en el PLC.
Símbolo	Indica el símbolo asignado a cada dirección.
Descripción	Indica una descripción breve de cada entrada.

Tabla N° 6.8.- Lista de E/S del Chasis de tablero de molino

Tarjeta	Canal	Dirección	Símbolo	Descripción
SLOT 1 1769-IF4XOF2	0	Local:1:I.Ch0Data	WT200	Peso de ingreso de mineral
	1	Local:1:I.Ch1Data	FIT201	Flujo de agua que ingresa al Molino
	2	Local:1:I.Ch2Data	LIT401	Nivel de Tk 1 de descarga de Molino
	3	Local:1:I.Ch3Data	LIT402	Nivel de Tk 2 de descarga de Molino
	4	Local:1:O.Ch0Data	SV200	Velocidad de faja de alimentación del Molino
	5	Local:1:O.Ch1Data	FV201	% de apertura de válvula de agua al molino
SLOT 2 1769-IF4XOF2	0	Local:2:I.Ch0Data	VI202	Sensor de Vibración en motor lado derecho
	1	Local:2:I.Ch1Data	VI203	Sensor de Vibración en motor lado izquierdo
	2	Local:2:I.Ch2Data	VI204	Sensor de Vibración en molino lado derecho
	3	Local:2:I.Ch3Data	VI205	Sensor de Vibración en molino lado derecho
	4	Local:2:O.Ch0Data	SV400	Velocidad de Bomba a la descarga del Molino
	5	Local:2:O.Ch1Data	FV500	% de apertura de válvula a la descarga
SLOT 3 1769-IF4XOF2	0	Local:3:I.Ch0Data	PIT400	Presión a la entrada del Molino
	1	Local:3:I.Ch1Data	D500	Densidad a la salida del Molino
	2	Local:3:I.Ch2Data	FIT601	Flujo de aceite 1 (Sistema de lubricación)
	3	Local:3:I.Ch3Data	FIT602	Flujo de aceite 2 (Sistema de lubricación)
	4	Local:3:O.Ch0Data		Reserva
	5	Local:3:O.Ch1Data		Reserva
SLOT 4 1769-IAI6	0	Local:4:I.Data.0	VDF200_HS	Eléctrico seleccionado en Faja
	1	Local:4:I.Data.1	F101_HS	Faja 1 seleccionada
	2	Local:4:I.Data.2	F105_HS	Faja 2 seleccionada
	3	Local:4:I.Data.3	F101_OL	Overload faja 1
	4	Local:4:I.Data.4	F105_OL	Overload faja 5
	5	Local:4:I.Data.5	F101_RDY	Energizado faja 1
	6	Local:4:I.Data.6	F105_RDY	Energizado faja 5
	7	Local:4:I.Data.7	VDF200_AUX	Run faja
	8	Local:4:I.Data.8	VDF200_FLT	Fault faja
	9	Local:4:I.Data.9	VDF400_HS	Eléctrico seleccionado Bomba
	10	Local:4:I.Data.10	VDF400_PLC	PLC seleccionado Bomba
	11	Local:4:I.Data.11	P401_OL	Overload Bomba 1
	12	Local:4:I.Data.12	P402_OL	Overload Bomba 2
	13	Local:4:I.Data.13	P401_RDY	Energizado Bomba 1
	14	Local:4:I.Data.14	P402_RDY	Energizado Bomba 2
15	Local:4:I.Data.15	VDF400_AUX	Run Bomba	

SLOT 5 -I 1769 A16	0	Local:5:I.Data.0	VDF400_FLT	Fault Bomba
	1	Local:5:I.Data.1		
	2	Local:5:I.Data.2	F12345	Pull Cord de fajas
	3	Local:5:I.Data.3	EMB_PS	Presión de aire de embrage
	4	Local:5:I.Data.4	BAP1_AUX	Status de Bomba de alta Presión 1
	5	Local:5:I.Data.5	BAP2_AUX	Status de Bomba de alta Presión 2
	6	Local:5:I.Data.6	BBP1_AUX	Status de Bomba de baja Presión 1
	7	Local:5:I.Data.7	BBP2_AUX	Status de Bomba de baja Presión 2
	8	Local:5:I.Data.8	MOL_AUX	Molino funcionando
	9	Local:5:I.Data.9	F102_AUX	Run status faja 2
	10	Local:5:I.Data.10	F103_AUX	Run Status faja 3
	11	Local:5:I.Data.11	F104_AUX	Run status faja 4
	12	Local:5:I.Data.12	LUB600_AUX	Sistema de lubricación arrancado
	13	Local:5:I.Data.13	LUB600_TSH	Alta temperatura en Molino
	14	Local:5:I.Data.14	M300_AUX	Run Status de Molino
	15	Local:5:I.Data.15	M300_TSH	Status del IQ1000
SLOT 6 1769-IF4XOF2	0	Local:5:O.Data.0		
	1	Local:5:O.Data.1	F102_CMD	Comando de arranque de faja 2
	2	Local:5:O.Data.2	F103_CMD	Comando de arranque de faja 3
	3	Local:5:O.Data.3	F104_CMD	Comando de arranque de faja 4
	4	Local:5:O.Data.4	F101_CMD	Comando de arranque de faja 1
	5	Local:5:O.Data.5	F105_CMD	Comando de arranque de faja 5
	6	Local:5:O.Data.6	F101_SP	Comando de parada faja 1
	7	Local:5:O.Data.7	F105_SP	Comando de parada faja 5
SLOT 7 1769-IF4XOF2	0	Local:6:O.Data.0	P401_CMD	Comando de arranque de Bomba 1
	1	Local:6:O.Data.1	P402_CMD	Comando de arranque de Bomba 2
	2	Local:6:O.Data.2		
	3	Local:6:O.Data.3		
	4	Local:6:O.Data.4	M300_CMD	Permisivo de arranque al sistema neumático
	5	Local:6:O.Data.5		
	6	Local:6:O.Data.6		
	7	Local:6:O.Data.7	SIRENA_CMD	Comando de activación de sirena

6.6.3 Escalamiento de Señales y Alarmas

El siguiente cuadro muestra el escalamiento de las señales análogas, de esta manera se puede apreciar los valores de los instrumentos en unidades de ingeniería.

También están listadas las alarmas generadas y los niveles en el cual se activan.

Tabla N° 6.9.- Escalamiento de señales

Dirección	Símbolo	Escalado			Alarmas			
		Und	min	máx	LoLo	Lo	Hi	HiHi
Local:1:I.Ch0Data	WT200	THP	0	60	---	15	---	---
Local:1:I.Ch1Data	FIT201	m3/h	0	35	---	10	---	---
Local:1:I.Ch2Data	LIT401	m	0	1.9	---	0.1	0.8	---
Local:1:I.Ch3Data	LIT402	m	0	1.9	---	0.1	0.8	---
Local:2:I.Ch0Data	VI202	lps	0	3	---	---	2	2.8
Local:2:I.Ch1Data	VI203	lps	0	3	---	---	2	2.8
Local:2:I.Ch2Data	VI204	lps	0	3	---	---	2	2.8
Local:2:I.Ch3Data	VI205	lps	0	3	---	---	2	2.8
Local:3:I.Ch0Data	PIT400	PSI	0	30	---	4	---	---
Local:3:I.Ch1Data	D500	g/l	0	2500	---	---	---	---
Local:3:I.Ch2Data	FIT601	Gpm	0	20	---	4	---	---
Local:3:I.Ch3Data	FIT602	Gpm	0	20	---	4	---	---

6.7 Puesta en Marcha

Para la culminación del proyecto y el afinamiento del proceso se realizaron algunas pruebas, para la realización de estas pruebas fue necesario tener las siguientes condiciones:

- Tener instalados todos los instrumentos en campo
- Tener configurados todos los instrumentos en el rango y las unidades acordadas
- Tener montados los tableros del PLC y de los variadores de velocidad en el MCC
- Cableado y conexionado de todas las señales eléctricas, tanto digitales como analógicas

6.7.1 Comisionamiento de Tablero de Control

Los tableros fueron comisionados en el taller, pero éste comisionamiento es para comprobar que las señales estén cableadas correctamente desde el tablero hasta el instrumento de campo.

- **Entradas Digitales:** Para el comisionamiento de estas señales, es necesario forzar los instrumentos en campo, de manera que puedan ser visualizados en el PLC, Sistema de Supervisión y Panel de Operador.

- **Salidas Digitales:** Para el comisionamiento de las salidas digitales, el forzado es en el PLC y se debe de observar en campo que el equipo al que corresponde esta salida se acciona.
- **Entradas Análogas:** Las entradas análogas son difíciles de simular desde campo, es posible la desconexión y usar un generador para apreciar la variable física o conectarlo y observar que el valor este dentro del rango fijado y en el equipo.
- **Salidas Análogas:** El comisionado de las señales análogas consisten en probar que el comando asignado llegue al actuador correspondiente.

6.7.2 Arranque del Sistema en Modo Eléctrico

En modo eléctrico el proceso trabaja sin la acción del PLC, es decir de la misma forma como se trabaja antes, salvo por el variador en las fajas y de las bombas. Para la operación es necesario colocar el selector en el tablero de Fajas y el selector del tablero de Bombas en modo “ELECTRICO”.

Se realizaron las siguientes pruebas:

- **Verificar Operación de variador de fajas:** Lo primero fue ingresar algunos parámetros para el control en manual como los datos de placa (voltaje, corriente, potencia, velocidad, tipo de motor, etc), se seleccionó como referencia de velocidad la entrada análoga 2, esto quiere decir que la referencia es enviada desde el PLC; el modo de control de velocidad es del tipo lazo abierto, el arranque y la parada es

en rampa, estos entre los mas importantes. El comando de arranque hacia la faja seleccionada se realiza desde la botonera ubicada en el tablero, se ingresaron a través del HIM del variador comandos de velocidad (0%, 25%, 50%, 75% y 100%), ante los cuales se comprobó el funcionamiento del motor además del incremento de mineral que ingresaba al molino. Para el arranque y parada se setearon rampas de 30 segundos y a sugerencia del personal de mantenimiento ante una falla, la parada debía de ser en una rampa de 3 segundos.

- **Verificar arranque de secuencia de Fajas en modo eléctrico:** Debido a la inclusión de señales y comandos desde y hacia el PLC, fue necesario comprobar el arranque de cada una de las 3 fajas restantes, fue necesario comprobar que cumplían los interlock y trips. Se procedió a realizar el arranque en secuencia y la parada en secuencia, se verificaron las seguridades en este caso el Pull Cord presente en las fajas, así como los reles de sobrecarga.
- **Verificar funcionamiento del molino:** Similar al caso de las fajas la inclusión de señales en la lógica de arranque del motor del molino y el molino puede generar algún problema, se procedió a una simulación del sistema de control haciendo la desconexión del motor, se comprobó el correcto funcionamiento, lo siguiente fue realizar el arranque incluyendo el motor.

- **Verificar Operación de Variador de Bombas:** El procedimiento de verificación del arranque fue similar al que se realizó para las fajas.

6.7.3 Arranque en Modo PLC - Manual

Este modo se le puede llamar el semi-automático, debido a que aquí ya trabajamos con el Controlador Lógico Programable, lo único que no se operan serán los lazos de control.

- **Verificación de las comunicaciones:** Como se explicó líneas arriba la red de interconexión usada para el proyecto es Ethernet industrial, luego de la asignación de las direcciones en los equipos y haber comprobado la comunicación en taller, es necesario hacerlo una vez más en campo para descartar problemas en el cableado, las distancias (como máximo 100 metros), y sobretodo algún tipo de interferencia electromagnética generada por algún equipo. La forma más fácil y rápida de verificar la comunicación es con una Laptop y hacer **PING** a cada equipo desde el SWITCH, si la comunicación es correcta, se realiza la prueba desde la PC de supervisión.
- **Verificación de comandos digitales desde Sistema de Supervisión:** Desde el panel de operador o el Sistema de Supervisión, el operador podrá hacer el arranque de los diversos motores, para el caso de las fajas se colocó el selector en modo “**PLC**”, siendo este un permisivo para el

arranque de cualquiera de los motores, para asegurar el arranque de los motores desde el PLC se quitaron los permisivos y enclavamientos presentes en la lógica y se arrancó cada uno de estos, comprobándose que no había ningún problema en las fajas, inmediatamente después se habilitaron los permisivos y enclavamientos, y se procedió a arrancar la faja 3. A sugerencia del personal de mantenimiento se colocó un permisivo adicional a esta faja referente al flujo de agua y si éste era muy bajo, la faja debía de parar para no seguir cargando al molino. El proceso de arranque de las dos siguientes fajas quedaron habilitadas, solo era necesario el comando por parte de alguno de los sistemas de supervisión.

- **Verificación de Comandos analógicos de Sistema de supervisión:** Las salidas analógicas a comandar son principalmente los variadores y las válvulas de dosificación, en el caso de los variadores, el comando de referencia llegaría a través de una señal de 4 – 20 mA, para esto se deshabilito la referencia por comunicación en los variadores, esto para que no genere algún tipo de conflicto ni falla de comunicación, procediendo a colocar los lazos en Manual, y enviar la salida correspondiente, estos valores fueron comprobados en el HIM de cada variador. Para las válvulas lo primero fue asegurar la calibración de las mismas, estas venían calibradas de fabrica. Lo siguiente fue hacer la prueba sin carga, es decir cerrando la válvula de agua manual antes de la automática, se enviaron comandos (0%, 25%, 50%, 75%, 100%), si bien es cierto que no existe una señal eléctrica que confirme el porcentaje de apertura, si existe en las

válvulas una confirmación mecánica, por esta razón, se aseguro el buen funcionamiento de las válvulas.

6.7.4 Arranque en Modo PLC - Automático

En el modo automático el sistema es capaz de regular sus lazos de control, el operador solo necesita ingresar los setpoint de trabajo y estar pendiente de las alarmas y trips que se generan en el proceso..

- **Verificación de la lógica de control en Fajas:** Las fajas son comandadas desde el panel de operador y el sistema de supervisión, desde allí se puede realizar el arranque y la parada de las mismas, pero no solo es necesario mandar la orden para que el sistema funcione correctamente, pues este cuenta con permisivos que hacen que el sistema pare si alguno de estos no está. Se probaron estas condiciones, como forzar el Pull Cord de seguridad, las sobrecargas de los motores y parada del molino, ante estas condiciones el proceso realizaba la secuencia de parada de fajas.
- **Verificación de la lógica de control de molino:** El arranque del molino si bien es cierto sigue siendo manual, esto por seguridad del equipo, cuenta con condiciones para la parada; estas, en su mayoría, protecciones como temperatura, presión, lubricación etc, estos permisivos fueron forzados para probar la lógica de parada. Para la

dosificación se comprobó el control por ratio entre el mineral ingresado y la cantidad de agua, una vez arrancado el molino el lazo de control de agua es habilitado, mientras que el lazo de control de mineral debe de esperar hasta que el auxiliar de la faja 3 sea energizado, estas pruebas se realizaron exitosamente.

- **Sintonización de lazos:** En total se cuentan con 4 lazos. La función PIDE, que se encarga de hacer la regulación de los lazos, tiene una herramienta para generar la autosintonía de los mismos, probándose en varias etapas del proceso. Los valores obtenidos nos acercaron a los valores deseados, el afinamiento se realizó analizando las gráficas obtenidas y ajustando manualmente los valores K_p , K_i y K_d , esto de acuerdo a la teoría y experiencia.

Tabla N° 6.10.- Parámetros PID

	Lazo			
	Flujo	Nivel	Tonelaje	Densidad
K_p	0.15	0.5	0.5	1.5
K_i	0.001	0.001	1.5	2
K_d	0	0	0	0
Loop Update Time	0.1	0.1	0.2	0.2

- **Verificación de Alarmas:** Las alarmas analógicas fueron lanzadas en algunos casos forzando las señales en el proceso desde el PLC, en otros como en el caso de la cantidad de mineral que ingresa al molino o la cantidad de agua, bajando los niveles de alarmas por debajo de los

valores registrados para observar el comportamiento del programa. En cuanto a las alarmas digitales, estas se forzaron directamente desde el PLC.

Capítulo 7

Evaluación Económica

La automatización del molino de bolas 9 ½ x 14 significó para la compañía minera significó una importante inversión, el análisis de la rentabilidad que se obtendría se ve en el siguiente capítulo.

7.1 Costos del proyecto

Los costos del proyecto son generados principalmente por la compra de equipos y servicios para el desarrollo de las aplicaciones e ingeniería propia de un proyecto.

En instrumentación, significó la compra de dos medidores de nivel del tipo ultrasónico con un rango de medición de 5 metros; un medidor de flujo del tipo magnético instalado en la tubería de ingreso de agua; un medidor de presión manométrica instalado a la entrada de los ciclones; válvulas de control de flujo instalados en la línea de agua tanto en la entrada como en la salida del molino; etc.

En equipos de control, podemos mencionar principalmente al PLC, el cual consta de un procesador, una fuente, y las tarjetas de entradas y salidas, todo esto

instalado en el tablero de control ubicado en el MCC; además de los equipos de comunicación.

Los tableros de los variadores, tanto el variador de fajas como el variador de bombas, cada uno de ellos en sus respectivos gabinetes y con sus elementos de protección respectivo.

Los servicios de ingeniería incluyen los trabajos realizados en todo el proyecto.

Tabla N° 7.1.- Costos del Proyecto

Descripción	Costos
Instrumentación	19,936.78
Equipos de Control	11,166.58
Tablero de Variadores de Velocidad	14,463.54
Servicios de Ingeniería	11,200.00
Total	56,766.90

7.2 Beneficios obtenidos

Actualmente y según los datos obtenidos el molino 9 ½ x 14, procesa 1024.45 Toneladas de mineral por día en promedio, la campaña de producción normal consta en promedio de 24 días, los restantes del mes son utilizados para el mantenimiento general de la planta.

Tabla N° 7.2.- Mineral procesado x día

Día	Producción Diaria
1	1032.23
2	1009.60
3	1021.10
4	1024.80
5	1026.72
6	1032.24

El costo de la tonelada de mineral procesado bajo 0.31 centavos de dólar, entonces podemos observar que el ahorro diario sería de 317.58 dólares.

Otro factor importante en señalar es la disminución en horas de mantenimiento realizadas al molino, aproximadamente 70 horas hombre, si consideramos que la hora hombre del personal de mantenimiento es de 5 dólares, entonces tenemos un ahorro mensual por mantenimiento de 350 dólares.

En cuanto al ahorro de energía, el uso de un variador de velocidad para el trabajo de las bombas es un ahorro importante, debido a que antes de la implementación del mismo, estos motores trabajaban a plena carga, ahora el trabajo es de acuerdo al lazo de control de nivel, de esta manera existe un ahorro de energía de un 15% del consumo anterior. Este ahorro en la energía consumida se logra además con la reducción del número de arranques y paradas en el motor de bombas.

Tabla N° 7.3.- Datos de Motor de Bombas

Detalle	Und	Valor
Tipo de motor		Inducción
Volt placa motor	VAC	460
Amps placa motor	Amps	155
Hz placa motor	Hz	60
RPM placa motor	RPM	1765
Pot. placa motor		125
Unid. pot. mtr.		HP
Hz sobrcrg. mtr.	Hz	20

Los ahorros generados por este concepto es el siguiente:

Tabla N° 7.4.- Ahorro mensual de energía eléctrica.

Detalle	Valor
Potencia del motor en HP	125.00
Potencia del motor en KW	92.50
Ahorro de energía en KW (15%)	13.88
Energía consumida por Motor mensual (Kw-h)	7992.00
Costo de energía eléctrica (US\$/Kw-h)	0.15
Ahorro mensual de energía (US\$)	1198.80

Los beneficios económicos totales por la realización del proyecto son:

Tabla N° 7.5.- Ahorro Mensual.

Concepto	Monto
Por mejoramiento de la producción	7939.60
Por mantenimiento del Molino	350.00
Por ahorro energético	1198.80
Total	9 488.40

La tasa interna de retorno solo en el primer año sería 11.8%, lo cual demuestra la rentabilidad del proyecto, asumiendo que la tasa de costo de oportunidad de la empresa es del 10% esto principalmente por el incremento en el costo de los minerales.

Conclusiones

- Para el desarrollo del proyecto en todas sus fases y etapas, se uso como base el PMBOK (**Project Management Body of Knowledge**), de esta manera se pudo planificar todas las tareas y procedimientos para el desarrollo de la ingeniería y la puesta en marcha. Ejecutar el plan del proyecto y el control de los cambios.
- El desarrollo de la ingeniería del proyecto fue hecho siguiendo estándares, como la ISA (Instrument Society of America), para el desarrollo los planos P&ID, conexionado, esquemáticos, etc., generados en el proyecto. Estándares internos para el desarrollo de las pantallas de supervisión en el Sistema SCADA y el Panel de Operador. Para el desarrollo de programa de control en el PLC, se uso los estándares propios de la compañía minera, de esta manera seria mucho mas fácil para el personal de mantenimiento dar soporte al sistema.
- Durante las pruebas realizadas con el Molino, se llego a trabajar hasta con 42.5 toneladas por hora, pero este molino tiene capacidad para producir hasta 50 toneladas por hora, no se llego a trabajar a estos niveles de carga debido a la dureza del mineral.

- Es necesario realizar una mejora en el proceso anterior a la molienda, el mineral que las chancadoras entregan al molino, no cumple con las características necesarias para una buena molienda, el grano que se envía es 15% mas grande del permitido, esto perjudica la mecánica del molino y es otra de las razones por la cual no se puede aumentar el tonelaje de ingreso al molino.
- Con el control de la relación sólido / liquido se llega a obtener una molienda de mejor calidad que antes de la automatización, pero este producto no va directamente a las celdas de flotación debido a que pasa por los ciclones, para una buena clasificación se debe de controlar la densidad y la presión a la entrada. Para este proyecto solo fue considerado el control de la densidad, pero queda aun hacer el control de la presión, para esto se recomendó poner una válvula a la entrada del ciclón
- La operación de molino se puede realizar en modo eléctrico, sin el uso del PLC y el sistema de supervisión, y en modo automático; la flexibilidad del sistema asegura a la compañía minera la operación del molino ante fallas en algunos de los equipos instalados.
- El desarrollo del sistema de reportes entrega información importante para balance de masas de todo el proceso minero, para un balance más exacto es necesario seguir implementando sistemas automáticos en la planta.
- En el desarrollo del proyecto se usaron equipos que son compatibles con los equipos ya instalados en la planta, esto facilita la integración de todos los sistemas actualmente instalados, sin hacer inversiones significativas.

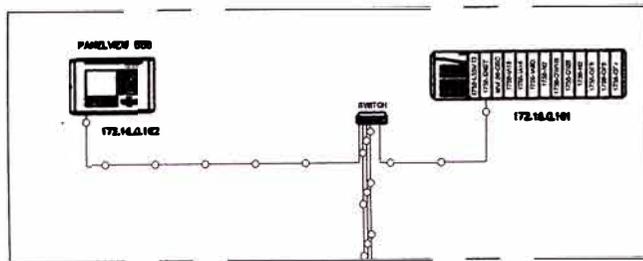
APENDICE 1

CRONOGRAMA DEL PROYECTO

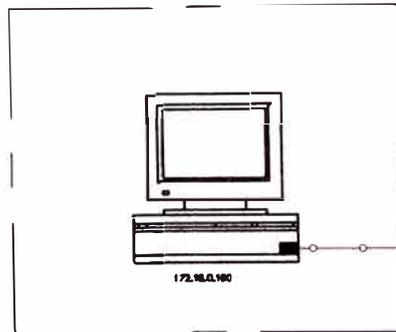
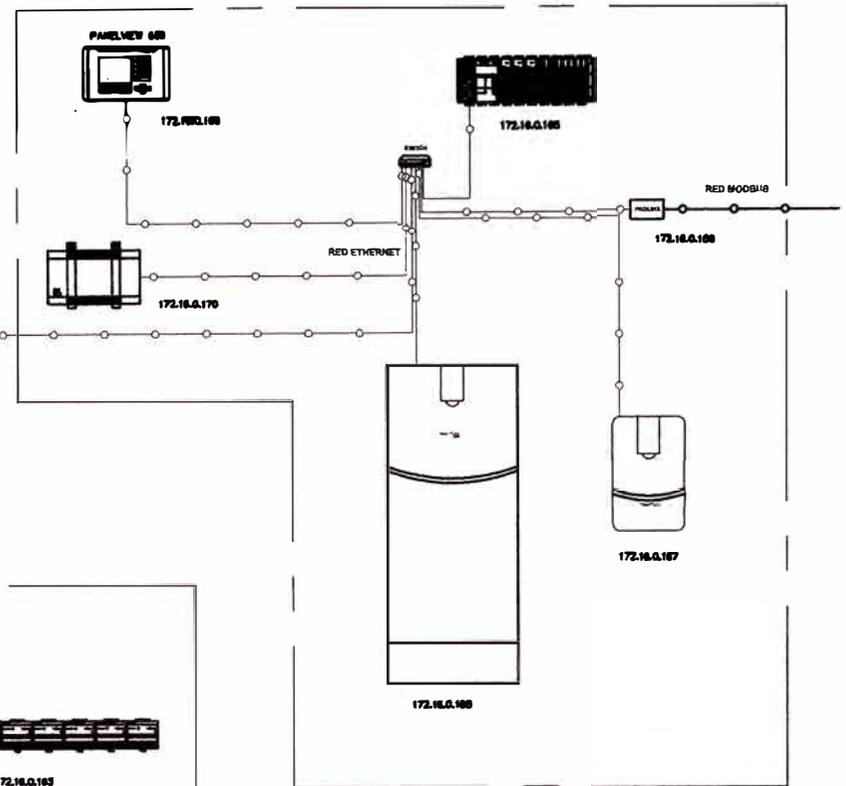
APENDICE 2

PLANOS ELECTRICOS

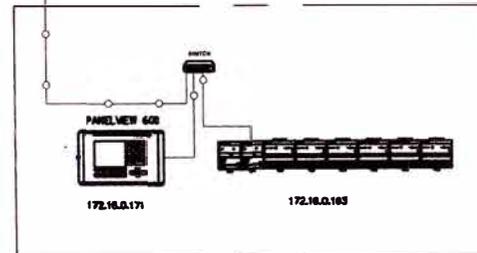
REACTIVOS



MOLINO FULLER



ESTACION DE SUPERVISION



CONTROL DE PH

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DEL CICLO	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DEL CICLO	APROBADO	OTRO	REVISIONES DEL OTRO	REVISADO POR	FECHA	REVISADO POR	FECHA
												J.S.T	08/08/04	J.S.T	08/08/04
												J.A.A.S	05/08/04	J.A.A.S	05/08/04
												J.A.A.S	05/08/04	J.A.A.S	05/08/04
												D.R.G	05/08/04	D.R.G	05/08/04
												C.L.M	05/08/04	C.L.M	05/08/04

COMPANIA MINERA SANTA LUISA

LAYOUT DE RED INDUSTRIAL EN PLANTA

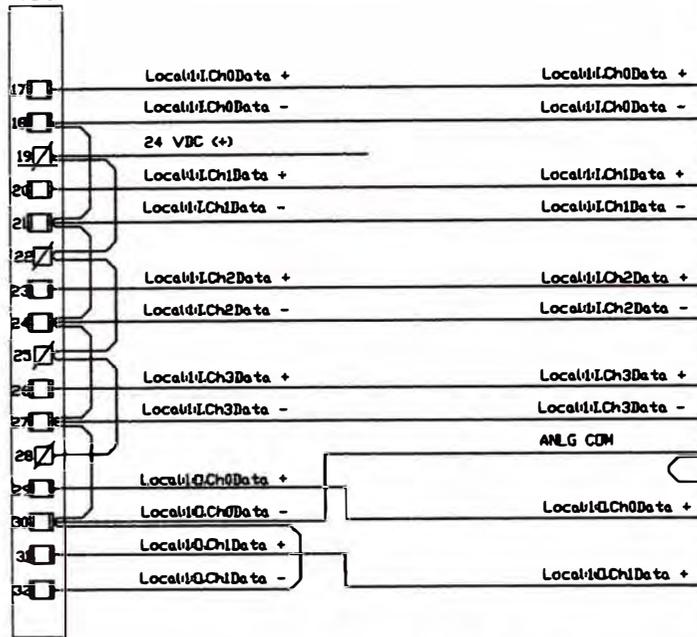
SEALA: G.E. CANTON DE PLANO: A3-4352-3200-62-002 DEL: 0

CAMPO

CONEXION INTERMEDIA

COMPAC LOGIX

TBO



LOCAL 1 1769-IF4XDF2	
V in 0+	
I in 0+	CH0 DATA
V/I in 0-	0-20mA AI
V in 1+	
I in 1+	CH1 DATA
V/I in 1-	0-20mA AI
V in 2+	
I in 2+	CH2 DATA
V/I in 2-	0-20mA AI
V in 3+	
I in 3+	CH3 DATA
V/I in 3-	0-20mA AI
ANLG COM	ANLG Con
ANLG Con	ANLG Con
I out 0+	0-20mA AO
V out 0+	
I out 1+	0-20mA AO
V out 1+	

LEYENDA	
<input type="checkbox"/>	Barrera en Campo
<input checked="" type="checkbox"/>	Barrera Universal
<input type="checkbox"/>	Barrera Fusible
<input checked="" type="checkbox"/>	Barrera Distribucion alimentacion

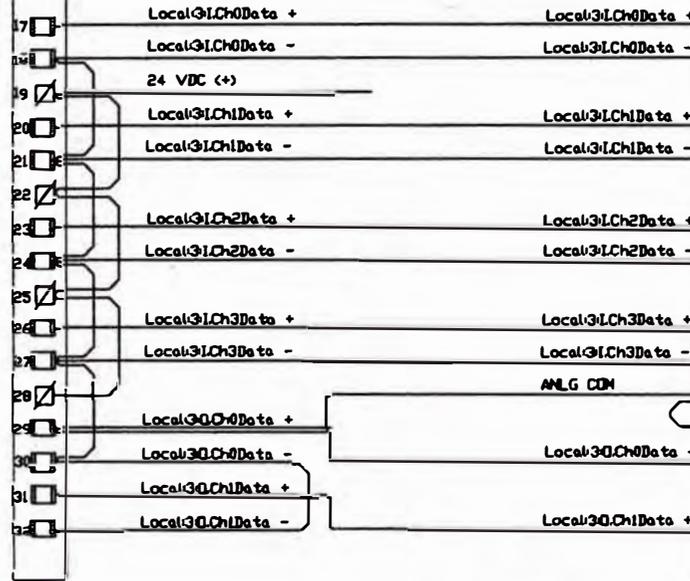
REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. TERC.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. TERC.	APROBADO	REVIS.	ESPECIFICOS DEL ESTADO	REVISIONES POR JEB	FECHA: 01/01/96	COMPANIA MINERA SANTA LUISA			
												REVISIONES POR JEB	FECHA: 01/01/96				
												REVISIONES POR JAAO	FECHA: 11/01/96				
												REVISIONES POR JAAO	FECHA: 01/01/96				
												REVISIONES POR JAAO	FECHA: 01/01/96	DIAGRAMA ESQUEMATICO DE TARJETA ANALOGA SLOT 1			
												REVISIONES POR JAAO	FECHA: 01/01/96				
												REVISIONES POR JAAO	FECHA: 01/01/96	REVISIONES POR JAAO	FECHA: 01/01/96	REVISIONES POR JAAO	FECHA: 01/01/96

CAMPO

CONEXION INTERMEDIA

COMPAC LOGIX

TB1



LOCAL 3 1769-IF4XOF2	
V in 0+	
I in 0+	CH0 DATA 0-20mA AI
V/I in 0-	
V in 1+	
I in 1+	CH1 DATA 0-20mA AI
V/I in 1-	
V in 2+	
I in 2+	CH2 DATA 0-20mA AI
V/I in 2-	
V in 3+	
I in 3+	CH3 DATA 0-20mA AI
V/I in 3-	
ANLG COM	ANLG Com
ANLG COM	ANLG Com
I out 0+	0-20mA AO
V out 0+	
I out 1+	0-20mA AO
V out 1+	

LEYENDA

- Barrera en Campo
- Barrera Universal
- Barrera Fusible
- Barrera Distribucion alternacion

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DEL DISE	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DEL DISE	APROBADO	REVISOR	REVISIONES DEL DISEÑO	FECHA DE EMISION	FECHA DE RECEPCION	FECHA DE CANCELACION	FECHA DE EJECUCION	FECHA DE CIERRE	FECHA DE SE	FECHA DE SE	FECHA DE SE

COMPANIA MINERA SANTA LUISA

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE
TARJETA ANALOGA SLOT 3

A3-4352-3200-67-003

CAMPO

CONEXION INTERMEDIA

COMPAC LOGIX

TB1

33	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.0 (A)	Local4I.Data.0 (A)	IN 0
34	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.1 (A)	Local4I.Data.1 (A)	IN 1
35	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.2 (A)	Local4I.Data.2 (A)	IN 2
36	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.3 (A)	Local4I.Data.3 (A)	IN 3
37	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.4 (A)	Local4I.Data.4 (A)	IN 4
38	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.5 (A)	Local4I.Data.5 (A)	IN 5
39	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.6 (A)	Local4I.Data.6 (A)	IN 6
40	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.7 (A)	Local4I.Data.7 (A)	IN 7
41	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.8 (A)	Local4I.Data.8 (A)	IN 8
42	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.9 (A)	Local4I.Data.9 (A)	IN 9
43	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.10 (A)	Local4I.Data.10 (A)	IN 10
44	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.11 (A)	Local4I.Data.11 (A)	IN 11
45	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.12 (A)	Local4I.Data.12 (A)	IN 12
46	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.13 (A)	Local4I.Data.13 (A)	IN 13
47	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.14 (A)	Local4I.Data.14 (A)	IN 14
48	<input checked="" type="checkbox"/> Local4I.Data.15 (A)	Local4I.Data.15 (A)	IN 15
49	<input checked="" type="checkbox"/> AC COM	AC COM	AC COM

LOCAL 4
1769-IA16

LEYENDA

- Barrera en Campo
- Barrera Universal
- Barrera Fusible
- Barrera Distribucion alimentacion



CONDICION RED:	PROTECCION RED:
CONDICION FUS:	CONDICION FUS:

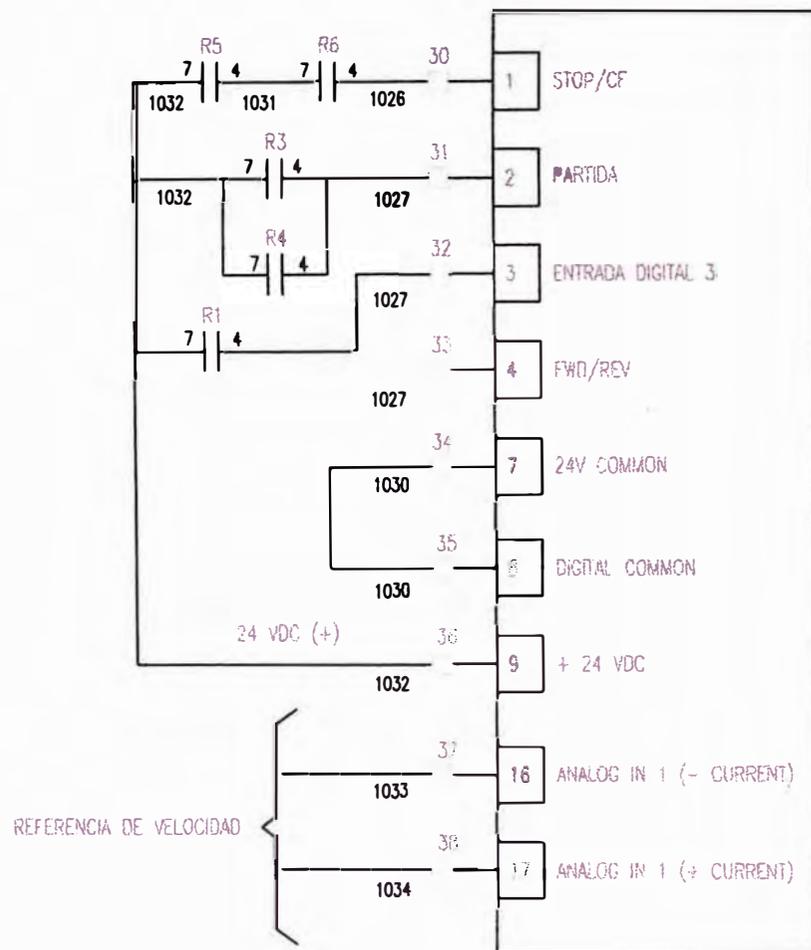
COMPAÑIA MINERA SANTA LUISA

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE
TARJETA DE EISTRADA DIGITAL SLOT 4

NUMERO DE PLANO
A3.4352-3200-67-004

REV. 0

VDF POWER FLEX 70



LEYENDA:

VDF	VARIADOR DE VELOCIDAD POWER FLEX 70
[Symbol]	SISTEMA DE CONTACTOR
[Symbol]	SISTEMA DE RELÉ DE GENERAL
[Symbol]	PLACA DE SEÑALIZACION
[Symbol]	SERVIDOR EN CARRERA VDF
[Symbol]	TERMINAL COMPACT I/O LOGIC

PROYECTADO POR:	FECHA:
REVISADO POR:	FECHA:
APROBADO POR:	FECHA:
IMP. DE RESERVAS:	FECHA:
REVISOR:	FECHA:

COMPANIA MINERA SANTA LUISA

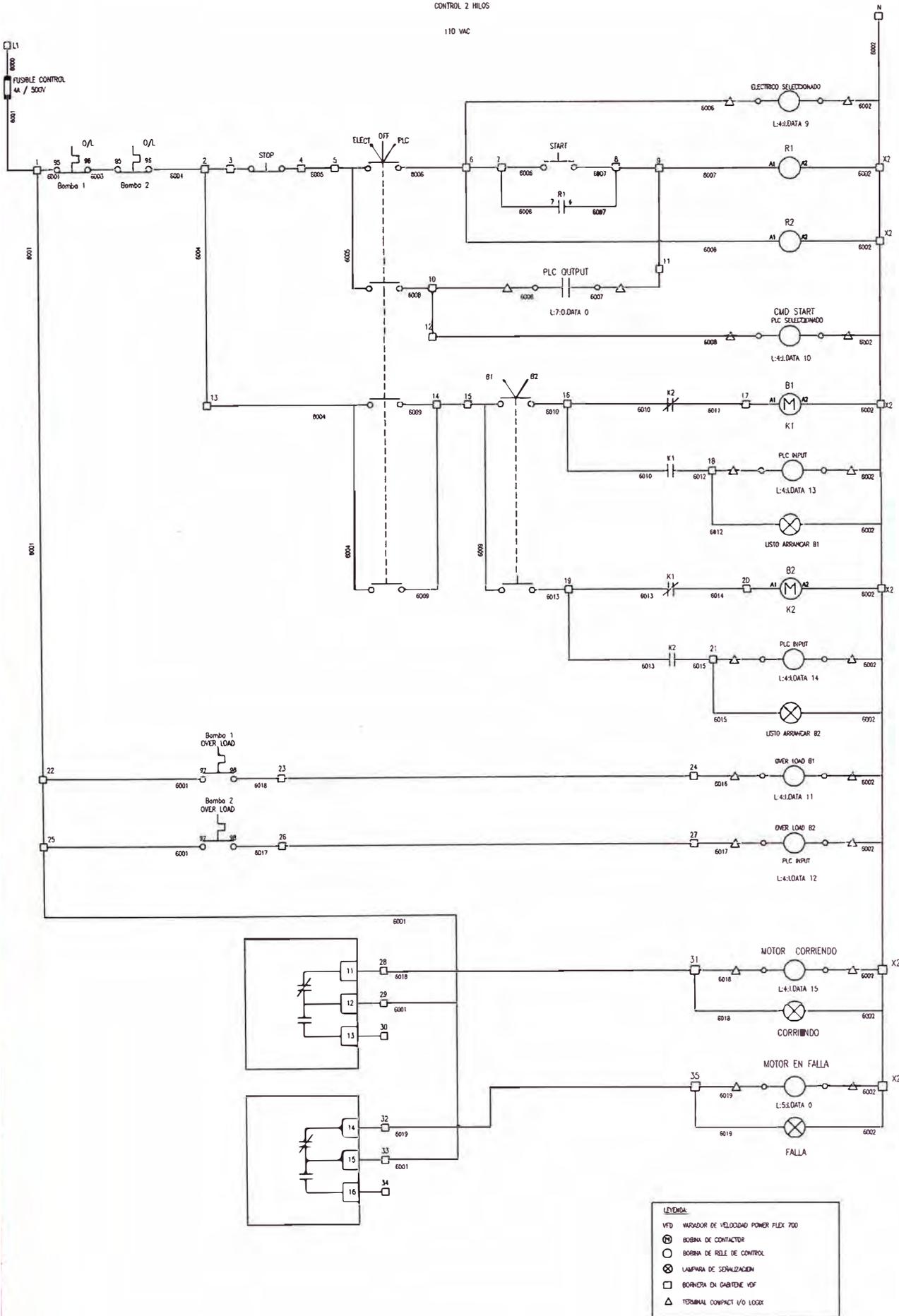
DIAGRAMA ESQUEMATICO DE
TARJETA DE VARIADOR DE FAJAS

REVISION: 0
ELEMENTO DE PLANTILLA: A3-4352-3200-67-010

VARIVADOR POWER FLEX 700

CONTROL 2 HILOS

110 VAC



LEYENDA

VFD	VARIVADOR DE VELOCIDAD POWER FLEX 700
(C)	BOBINA DE CONTACTOR
(C)	BOBINA DE RELE DE CONTROL
(L)	LAMPARA DE SEÑALIZACION
(O)	BOBINA DE DIBAJE VOF
(Δ)	TERMINAL COMPACT I/O LOGIC

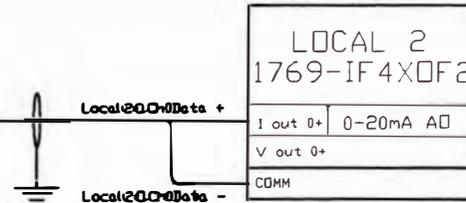
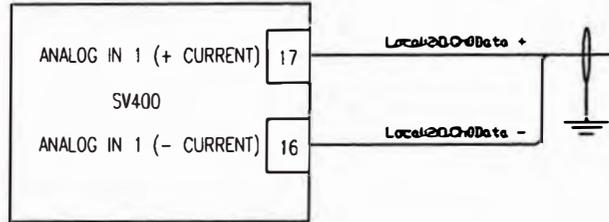
COMPANIA MINERA SANTA LUISA
 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE CONTROL DE BOMBAS
 A3-4352-3200-07-012

NO.	DESCRIPCION	UNIDAD	ESTADO	FECHA	REVISOR	APROBADO
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						

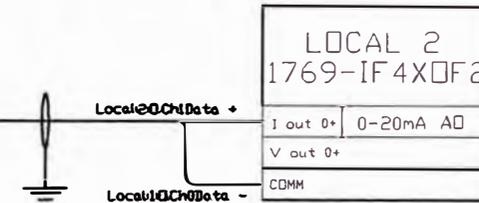
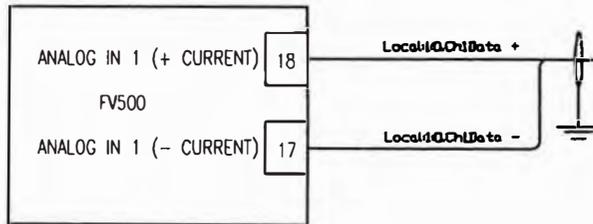
CAMPO

COMPAC LOGIX

Velocidad de Bomba de Descarga de Molino



% de Apertura de Valvula de Agua a lo salida



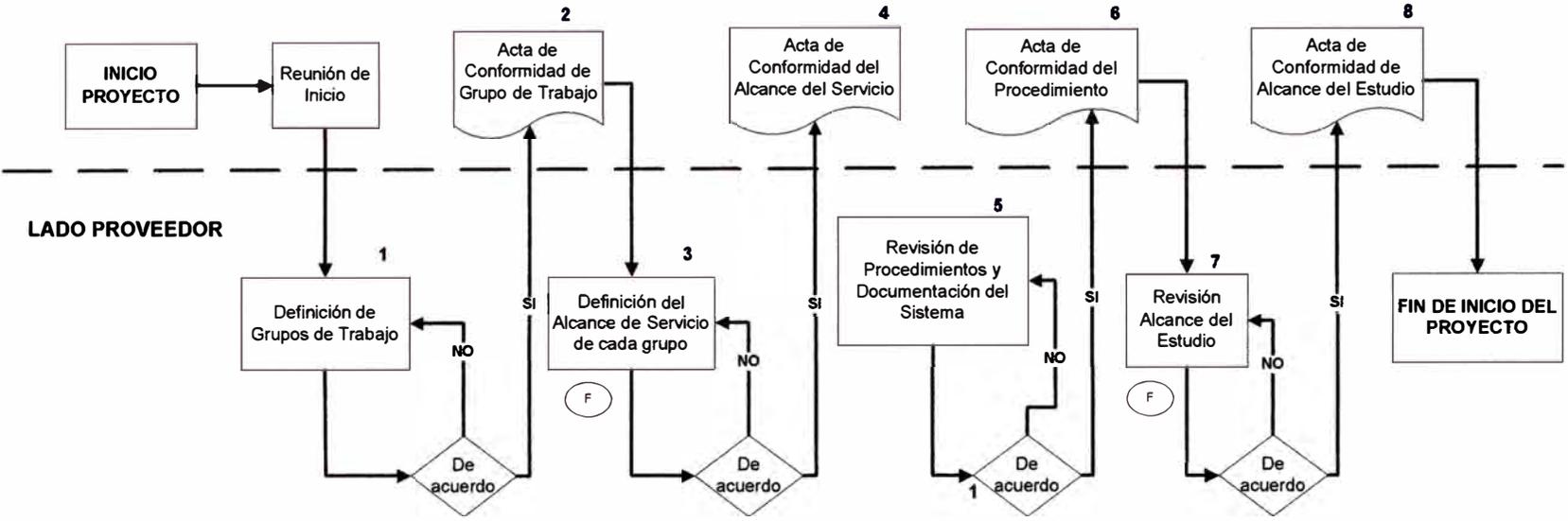
LEYENDA
 Barrera Fusible

REV.	FECHA	DESCRIPCION	ELABORADO	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	ELABORADO	APROBADO	REVISOR	OPERACION DEL OBJETO	REVISOR POR I.B.T.	FECHA: 01/01/01	COMPANIA MINERA SANTA LUISA DIAGRAMA DE LAZOS DE INSTRUMENTOS 8
												REVISOR POR I.B.T.	FECHA: 01/01/01	
												REVISOR POR I.B.T.	FECHA: 01/01/01	
												REVISOR POR J.A.A.G.	FECHA: 10/01/01	
												REVISOR POR J.A.A.G.	FECHA: 01/01/01	
												REVISOR POR S.M.C.	FECHA: 01/01/01	
												REVISOR POR S.M.C.	FECHA: 01/01/01	
												REVISOR POR S.M.C.	FECHA: 01/01/01	
												REVISOR POR S.M.C.	FECHA: 01/01/01	
												REVISOR POR S.M.C.	FECHA: 01/01/01	

APENDICE 3
DIAGRAMAS DE ASEGURAMIENTO
DE LA CALIDAD

INICIO DEL PROYECTO

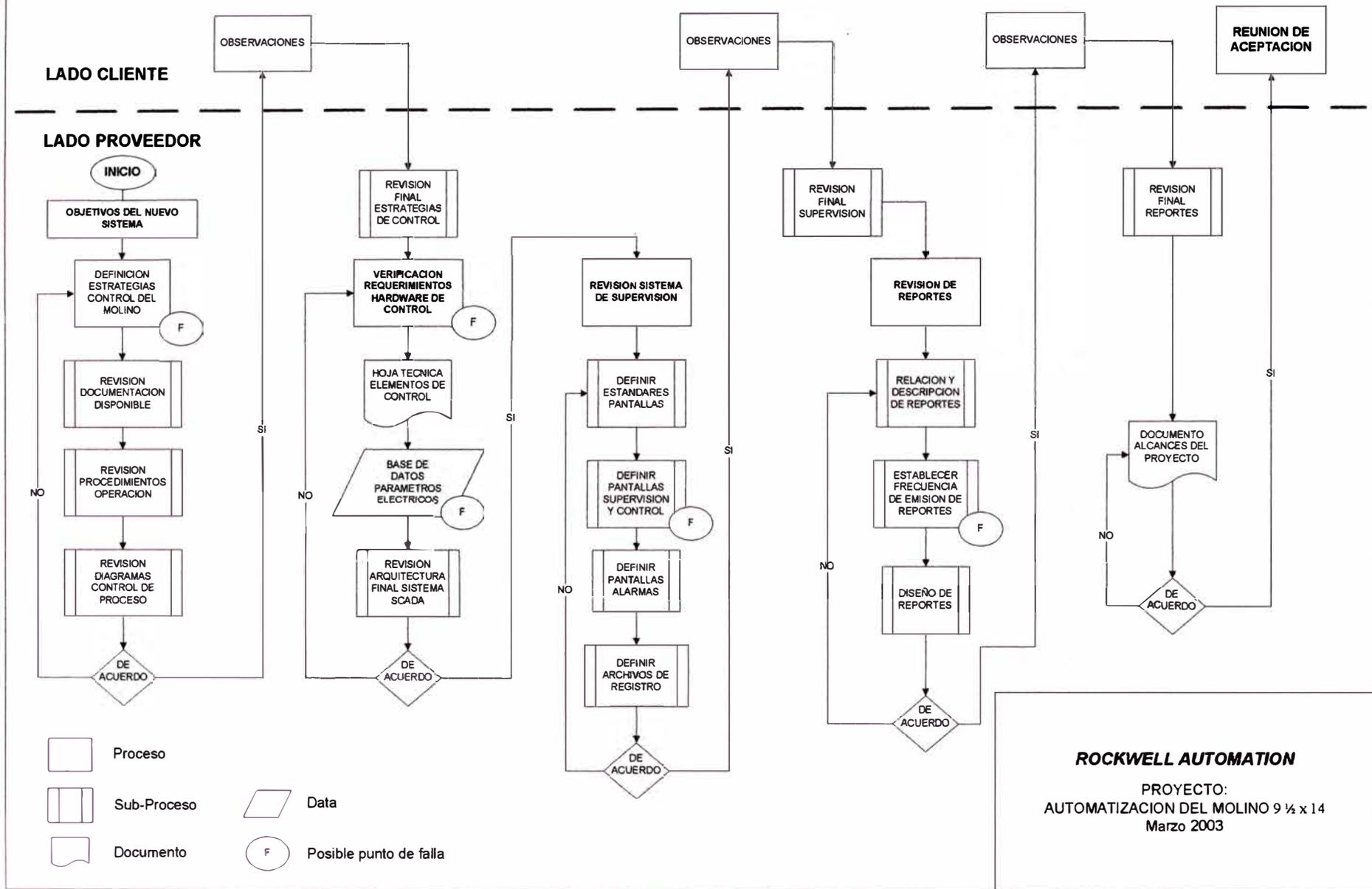
LADO CLIENTE



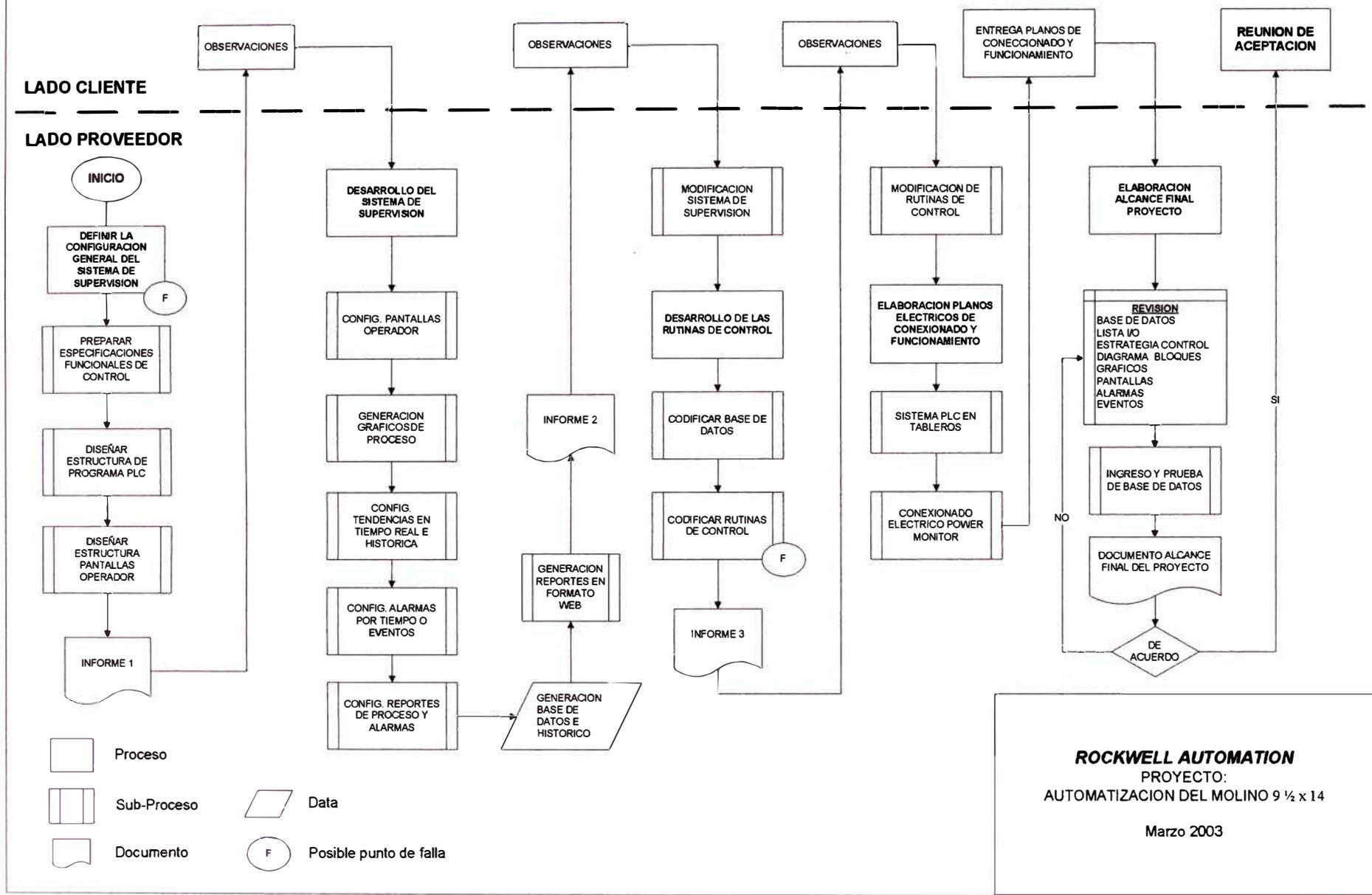
(F) Probable punto de Falla

ROCKWELL AUTOMATION
 PROYECTO:
 AUTOMATIZACION DEL MOLINO 9 ½ x 14
 Marzo 2003

INGENIERÍA BÁSICA



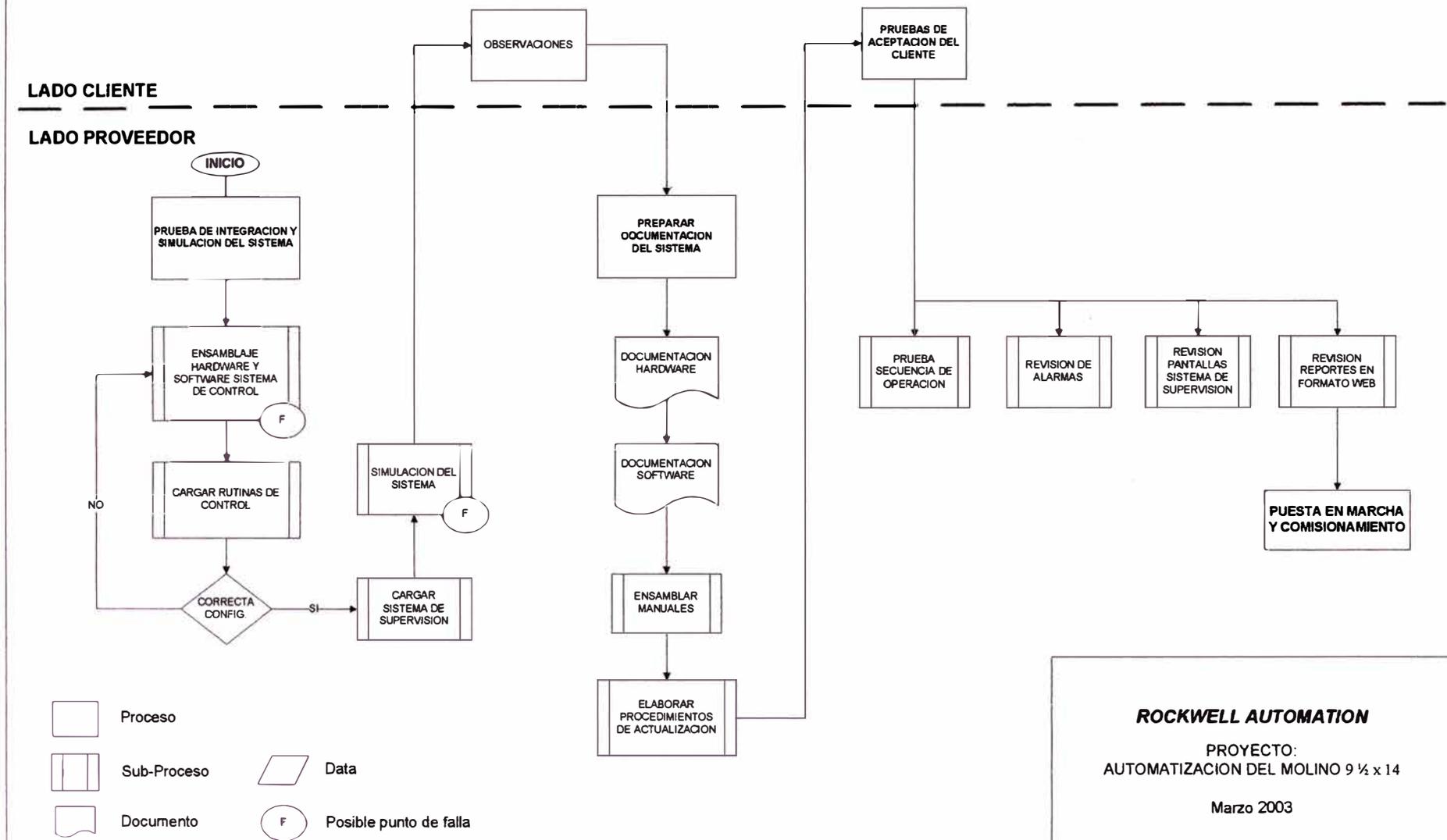
INGENIERIA DE DETALLE



- Proceso
- Sub-Proceso
- Documento
- Data
- F Posible punto de falla

ROCKWELL AUTOMATION
 PROYECTO:
 AUTOMATIZACION DEL MOLINO 9 ½ x 14
 Marzo 2003

INTEGRACION Y PRUEBA DEL SISTEMA DE CONTROL

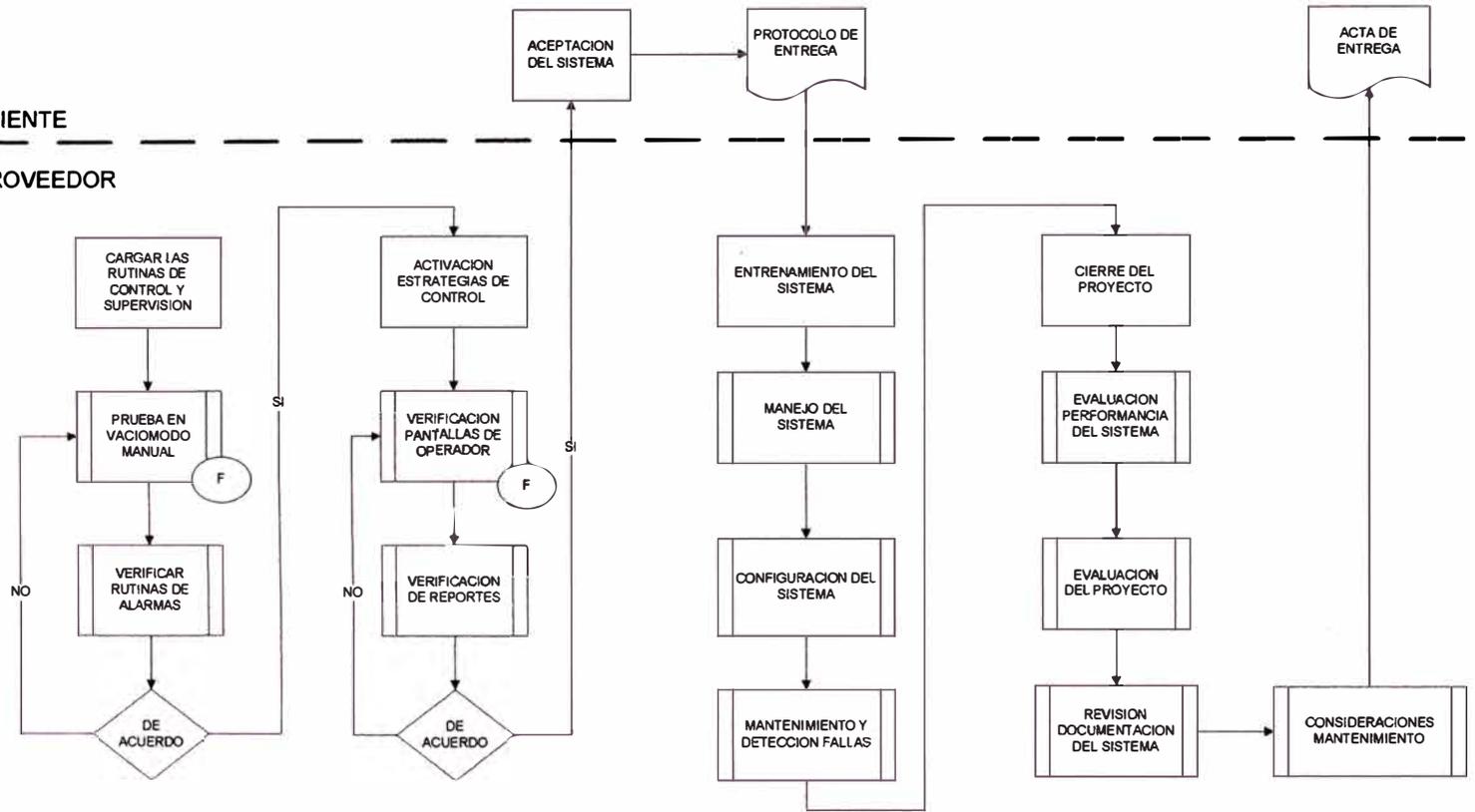


ROCKWELL AUTOMATION
 PROYECTO:
 AUTOMATIZACION DEL MOLINO 9 ½ x 14
 Marzo 2003

PUESTA EN MARCHA Y COMISIONAMIENTO

LADO CLIENTE

LADO PROVEEDOR



- Proceso
- Sub-Proceso
- Documento
- Data
- F Posible punto de falla

ROCKWELL AUTOMATION
 PROYECTO:
 AUTOMATIZACION DEL MOLINO FULLER
 Marzo 2003