

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**AUTOMATIZACIÓN E INSTRUMENTACIÓN NECESARIA  
PARA EL BYPASS DE UN MOLINO SEMI AUTÓGENO**

**INFORME DE SUFICIENCIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:  
CHRISTIAN JOE MEGO ROMÁN**

**PROMOCIÓN  
2008- I  
LIMA – PERÚ  
2012**

**AUTOMATIZACIÓN E INSTRUMENTACIÓN NECESARIA PARA EL BYPASS  
DE UN MOLINO SEMI AUTÓGENO**

Dedicado a mi querido padre, a quien le debo todo en esta vida y mediante el presente trabajo expreso mi anhelo de querer cumplir sus metas como padre que son las mías como su hijo.

## SUMARIO

El presente informe tiene como objetivo identificar, mostrar, analizar, resolver y finalmente establecer una ligera simulación mediante software SCADA de las áreas y la instrumentación usada, para poder realizar el Bypass (derivación) del molino principal en la minera poli metálica ANTAMINA.

Inicialmente se plantea con mucho detalle el problema de ingeniería y las razones del por qué de la necesidad de realización del proyecto. Se mostrará material audio visual, los cuales nos podrán brindar un mejor panorama de todo el nivel de ingeniería desarrollado y los retos que se deben superar para alcanzar los objetivos planeados. Luego se detalla la ingeniería básica correspondiente a la automatización de la nueva planta elaborada con la finalidad de llegar a derivar al molino SAG. En este punto se muestra, sin llegar a profundizar demasiado, los planos P&ID de las diversas áreas y algunos planos eléctricos. Luego se muestra la filosofía de control que se debe cumplir junto con los modos de operación de los motores. Se evalúan, fundamentan razones del uso de diversos protocolos de comunicación industriales de acuerdo a la arquitectura de control definida.

En la siguiente etapa se describe el marco teórico y los conocimientos previos que requerimos para poder comprender plenamente el proceso de automatizar una planta o área y las razones del por que se necesitan entes autónomos (controladores).

En base al modelo CIM de la pirámide de automatización se brinda información de los diversos niveles que la conforman.

Adicionalmente se muestra en el capítulo IV a través del software de programación, la solución mencionada en los capítulos anteriores, un resumen del desarrollo de la programación en “ladder” que se realizó y una breve descripción de su funcionalidad. Finalmente se menciona las conclusiones, propuestas de mejoras al sistema de control y al modo de operación; junto con un corto análisis de precios y costos globales.

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN A LOS CAPÍTULOS</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b> .....	3
<b>PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA</b> .....	3
1.1 ALCANCES .....	6
1.2 DOCUMENTOS ASOCIADOS .....	13
1.3 DESCRIPCIÓN A DETALLE DEL SISTEMA .....	14
1.4 SISTEMA DE CONTROL .....	25
1.5 SISTEMA DE COMUNICACIONES .....	27
1.6 FILOSOFÍA DE CONTROL .....	32
1.6.1 CONTROL DISCRETO .....	32
1.6.2 CONTROL CONTINUO .....	37
1.7 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL .....	40
<b>CAPÍTULO II</b> .....	49
<b>MARCO TEÓRICO, CONOCIMIENTOS PREVIOS Y CONCEPTOS</b> .....	49
2.1 PIRÁMIDE DE LA AUTOMATIZACIÓN, MODELO “CIM” .....	49
2.2 DEFINICIÓN DE AUTOMATIZACIÓN .....	56
2.3 CONTROL DE PROCESOS .....	58
2.4 DEFINICIÓN DE INSTRUMENTACIÓN .....	59
<b>CAPÍTULO III</b> .....	61
<b>METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	61
3.1 ESTANDARES USADOS EN LA MINA .....	62
3.2 ARQUITECTURA DE CONTROL REQUERIDA ¿DCS o PLC? .....	63
3.3 LÓGICA CABLEADA REQUERIDA .....	65
3.4 COMPARATIVA ENTRE 2 POSIBLES SOLUCIONES DE PLC .....	66
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	69
<b>ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	69
4.1 PROGRAMAS EN LENGUAJE LADDER .....	70
4.2 PROGRAMACIÓN DE SCRIPTS PARA EL SCADA .....	78

4.3 SIMULACIÓN DEL PROCESO AUTOMATIZADO.....	84
4.4 PRESUPUESTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN.....	85
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO A</b>	
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>93</b>

## INTRODUCCIÓN

El presente informe está dividido en cuatro capítulos:

- Capítulo I: En este capítulo se muestra la memoria descriptiva del proyecto, el planteamiento de la ingeniería desarrollada ante el problema y la estructura o planeamiento que debemos tener en cuenta con el fin de lograr los objetivos. Para esto primero se describe a modo de resumen el problema y se detalla el diagrama de flujo con el cual podremos realizar una derivación o Bypass al molino SAG, luego se presenta el procedimiento y la lógica de secuencias que atraviesa el mineral chancado, se describe los sistemas de comunicación, el sistema de control y finalmente se muestra la filosofía de control junto con el equipamiento requerido.
- Capítulo II: En este capítulo se presentan generalidades que se debe tener muy en cuenta al momento de empezar a realizar un diseño o una arquitectura de control para la automatización de una planta. Se describe los elementos más importantes de la pirámide de automatización, de acuerdo al modelo CIM que se basa en la ISA-95, nivel por nivel hasta llegar al nivel más alto que es el de manejo o gestión. Toda planta industrial moderna que tiene por objetivos optimizar tiempos y recursos está desarrollada bajo un modelo similar al de la pirámide de automatización.
- Capítulo III: En este capítulo se explica la metodología y la estrategia usada para solucionar el problema a nivel de ingeniería. Se hace mención a los estándares de la minera que son requisitos mandatorios para el desarrollo de nuestra solución, posteriormente se muestra la arquitectura de control que se usará, se resalta la lógica cableada que prevalece o tiene mayor prioridad en caso de fallas en el controlador y se realiza una ligera comparativa entre dos tecnologías distintas para la solución del problema.
- Capítulo IV: En este capítulo se hace mención al presupuesto a fin de no sobre valorar los recursos materiales y humanos con los que se hizo el planeamiento. El presupuesto mencionado es analizado desde un punto de vista macro pero se orienta en buena parte a lo correspondiente en control y automatización. También se describe a groso modo el

programa ladder que se desarrollo a fin de cumplir con la filosofía de control, dicho ladder se complementa con los Scripts usados para la visualización en el sistema SCADA. Sobre el sistema SCADA se mostrará algunos Scripts elaborados y se realizará la simulación de todo el proyecto; para cumplir con dicha simulación se tendrá que activar una rutina especial SIMULACIÓN de modo que se tenga la confirmación de campo de los comandos enviados al PLC.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA**

El proyecto en mención tiene como origen la idea de procesar 3000 toneladas/hora cuando el molino Semi Autógeno (SAG) se encuentra en estado parado, ya sea debido a que permanece en mantenimiento, por una falla eléctrica en el motor, por falta de suministro eléctrico de la concesionaria de energía u otras razones. Debido a que este molino es el corazón de la producción del mineral ante cualquier tipo de parada se considera su estado, performance como crítico en la producción del mineral. La razón principal de paradas se debe a fallas eléctricas inesperadas en el rotor del motor; dicho mantenimiento implica un largo tiempo de inoperatividad (dado los detalles mencionados se entiende por inoperatividad a partir de un tiempo de 20 minutos para adelante); normalmente existe una parada de planta general programada una vez al año y tiene una duración de 6 a 10 días, en dicha parada se ve la calibración de toda la instrumentación en el proceso de producción, se realiza el mantenimiento preventivo, correcto del molino y demás etapas del proceso.

El proyecto de Bypass Molino SAG está diseñado para manejar un rango aceptable en la producción. Por su versatilidad y robustez, pese a que inicialmente el proyecto contemplaba solo el funcionamiento durante el mantenimiento planeado y principalmente el inesperado, este circuito también se puede operar en paralelo con la molienda SAG para aumentar el tonelaje de tratamiento. El proyecto Bypass Molino SAG cuenta con una chancadora, dos zarandas secas y una zaranda húmeda. También con equipos principales que permiten la reducción y clasificación de tamaños del mineral, este proceso es llamado análisis clasificatorio de la granulometría. El material fino es alimentado al circuito de molienda, circuito de clasificación y el material grueso se re alimenta al circuito de Pebbles.

El trabajo principal, realizado por el autor del presente informe radicó en elaborar las pruebas de precomisionamiento, FAT (pruebas de aceptación en fábrica), comisionamiento de señales, pruebas SAT (pruebas de aceptación en campo o insitu) y finalmente la puesta en marcha de todo el proyecto con la finalidad de tener el certificado

de aceptación para el cierre del proyecto. Para cumplir con las tareas mencionadas se estuvo trabajando de modo directo con la calibración de algunos instrumentos tales como transmisores de vibración, transmisores de nivel, transmisores de temperatura, tilt switch o sensores de nivel alto, sensores de velocidad “0”, sensores de ruptura de faja, transmisores de presión. La programación completa del Controlador Lógico Programable redundante y la programación total del sistema SCADA fue trabajada en forma paralela a fin de tener un mejor ajuste en el control de los equipos y la visualización de pantallas. El tiempo aproximado que se estuvo en la sala eléctrica (la cual cuenta con un Centro de Control de Motores CCM inteligente y distribución de toda la energía para los diversos dispositivos del proyecto) y en la sala de control (lugar estratégico de la minera desde el cual se monitorea constantemente todo el proceso minero e incluso el sistema contra incendios) fue de 6 meses con periodos de descanso de 8 días por cada mes; en la Figura 1.1 podemos ver un diagrama Gantt, el cual nos puede dar una idea de los tiempos manejados para despliegue e implementación del proyecto. Durante el tiempo trabajado se pudo apreciar prácticamente por completo el desarrollo íntegro del proyecto en sus distintas fases, la experiencia en mención fue tan enriquecedora en conocimiento que se estuvo cerca de ingresar a trabajar de modo directo para Antamina. Para mayor detalle de las etapas u áreas que comprende el Bypass al molino SAG se muestra la Figura 1.2 la cual muestra el tonelaje y la granulometría que se requiere para que el mineral pueda pasar a la etapa de alimentación de los molinos bolas, a los Hydrociclones, luego a la etapa de flotación, concentración y transporte (mineroducto Lima-Huamey) para finalmente ser despachado en el puerto Huarmey ubicado en el departamento de Áncash y ser distribuido primordialmente a los mercados asiáticos.

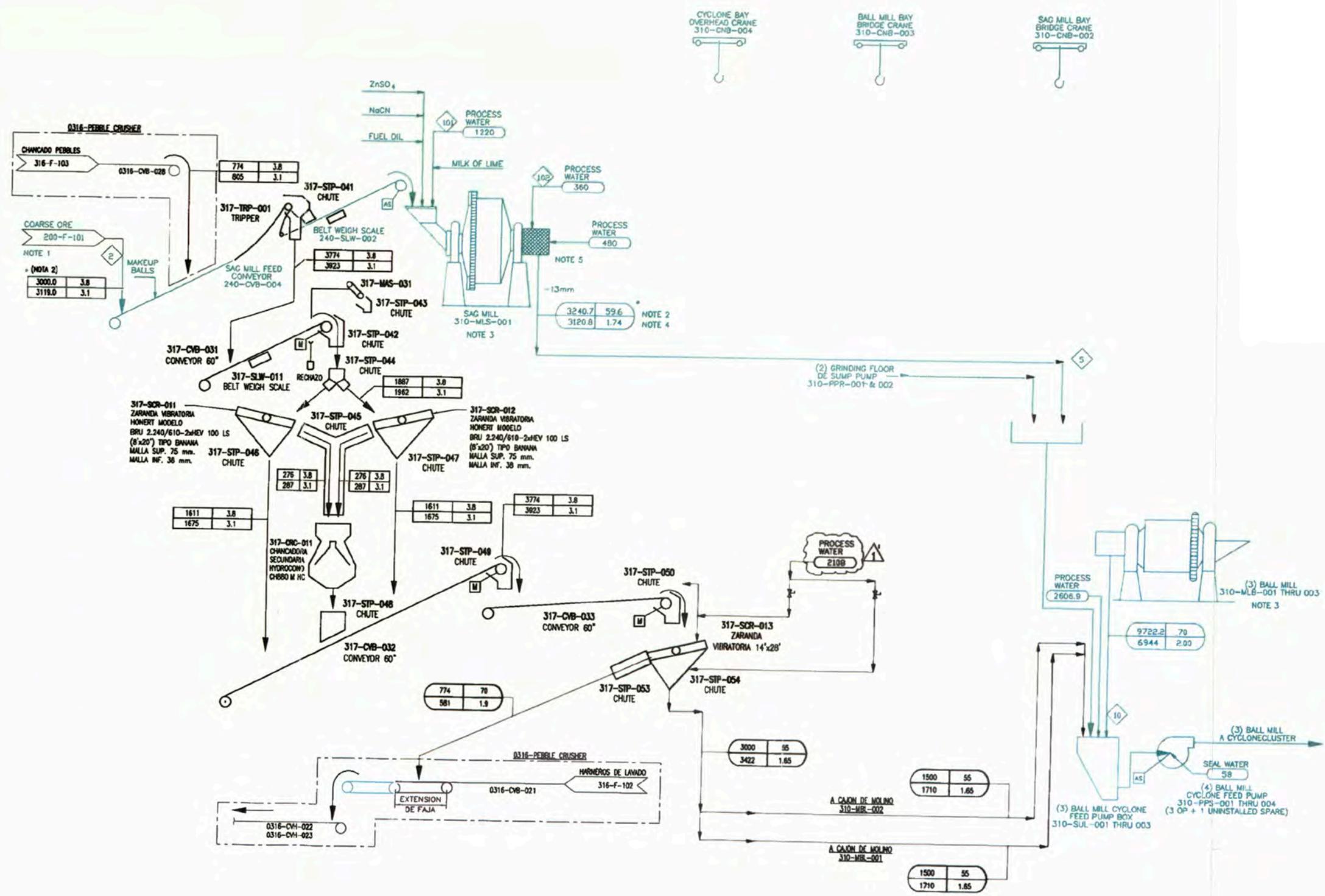
De modo adicional se adjunta una carpeta asociada (la cual se encuentra grabada en el CD entregado) la cual contiene algunos videos que muestran detalle de las estructuras mecánicas de las diversas áreas y el funcionamiento de algunos equipos como la chancadora Hidro-cono, ubicación en la planta de las fajas transportadoras, entre otros.[23]



## 1.1 ALCANCES

El presente subcapítulo contempla la lógica y estrategia de control para el Sistema Bypass al Molino SAG en referencia al Proyecto SAG MILL BYPASS. Se contempla lo referente netamente al desarrollo de la ingeniería y lógica de control a elaborar. El Sistema Bypass comprende fundamentalmente los siguientes equipos principales: Tripper estacionario con dos compuertas tipo cuchilla, fajas transportadoras, separador magnético, chancadora Hidro-cono, zarandas vibratorias secas tipo banana y zaranda vibratoria húmeda. La lógica y estrategia de control, así como la programación de las aplicaciones para los sistemas de control correspondientes a los equipos principales del Tripper estacionario y chancadora Hidro-cono, son desarrollos propios y de responsabilidad de los proveedores o *vendors* pero se debe tener claro que finalmente la integración al SCADA de todos los sistemas, equipos se elaboró en su integridad por el autor del presente informe bajo el asesoramiento del Project Leader de la empresa bajo la cual se trabajo. Las lógicas y estrategias de control para los sistemas correspondientes a la faja transportadora 4 y planta de Pebbles Crusher son existentes y trabajarán interactuando con el proyecto Bypass Molino SAG, sin embargo debido a que existió la necesidad de realizar secuencias y programación en el sistema BAILEY para los controladores y las pantallas SCADA del equipamiento operativo involucrado fue tarea propia de los ingenieros de sala de control de Antamina el realizar dichas modificaciones. Como procedimiento, este informe está asociado de acuerdo a las últimas revisiones de documentos y planos referenciales asociados; los cuales se encuentran adjuntos en la carpeta de referencia sobre el proyecto (CD entregable). En dicha carpeta se podrá encontrar información adicional como los programas de configuración de los diversos módulos SCAN para maniobrar diversos protocolos de comunicación industrial, el programa del controlador lógico programable (PLC), el software de supervisión Intouch, diagramas P&ID de las diversos componentes del Bypass, diagramas layout-esquemáticos de los gabinetes de control, diagramas de flujo, equipamiento e instrumentación contemplada a detalle. En el desarrollo global del informe me he enfocado en estudiar y describir el detalle funcional de las diversas áreas involucradas en el Bypass al Molino SAG. El desarrollo esta orientado a profundizar en temas de programación de controladores y programación del software SCADA Intouch.

No es alcance del presente informe el entrar en el detalle de compra, adquisición de materiales usados para la implementación, instrumentación, tiempos planificados de trabajos, pruebas de puesta en marcha, planos as built, etc.



**LEGEND**

SLURRY SOLIDS PULP  $\frac{l/h}{m^3/h}$   $\frac{\% \text{ SOLIDS}}{SP.GR}$

SOLIDS DRY  $\frac{l/h}{m^3/h}$   $\frac{\% \text{ MOISTURE}}{l/m^3}$

WET  $\frac{l/h}{m^3/h}$

WATER  $\frac{m^3/h}{m^3/h}$

◇ STREAM NUMBER } REFER TO ORE & WATER BALANCE

↘ STREAM SAMPLE (NO. OF STREAMS)

PRIMARY FLOW  $\text{—————}$

SECONDARY FLOW  $\text{—————}$

INTERMITTENT/ALTERNATE FLOW  $\text{—————}$

**NOTES:**  
 1.-PLANT OPERATION IS SCHEDULED FOR 24 HOURS/DAY, 45 DAYS/YEAR.  
 2.-BALANCE FLOWS SHOWN ARE BASED ON A NEW FEED RATE OF 3000 TONS PER HOUR.

GRANULOMETRIA INGRESO A ZARANDA 14'x28'		GRANULOMETRIA A CAJON DISTRIBUIDOR	
mm	%	mm	%
0.063	5.5	0.037	3.6
0.13	10	0.074	4.2
0.25	15.1	0.053	5.0
0.50	20.8	0.075	6.6
1.0	27.5	0.106	8.6
2.0	35.2	0.15	11.3
4.0	45.5	0.212	13.9
6.0	51.2	0.3	16.8
8.8	62.1	0.425	19.5
12.4	68.8	0.6	23.1
19.0	81.5	0.75	26.4
25.4	89.5	1.18	29.6
31.5	94.8	1.7	34.1
38.5	99.6	2.36	39.2
50.8	100.0	3.35	45.5
		4.75	52.9
		6.7	62.2
		9.5	73.0
		12.7	84.1
		19.05	98.9
		25.4	100.0

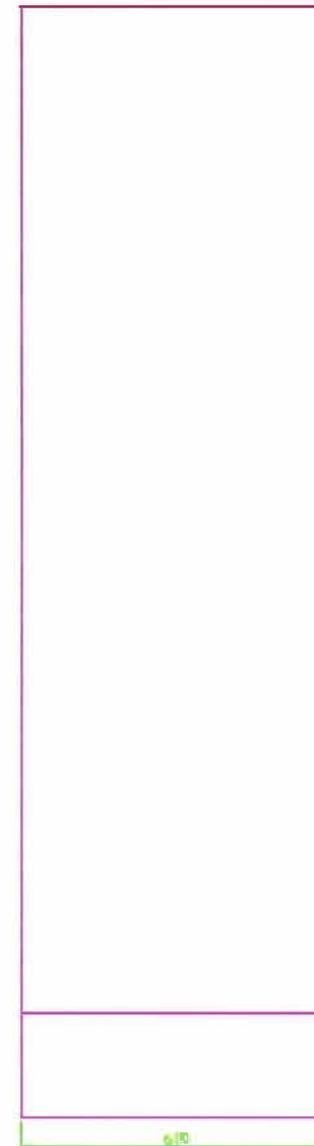
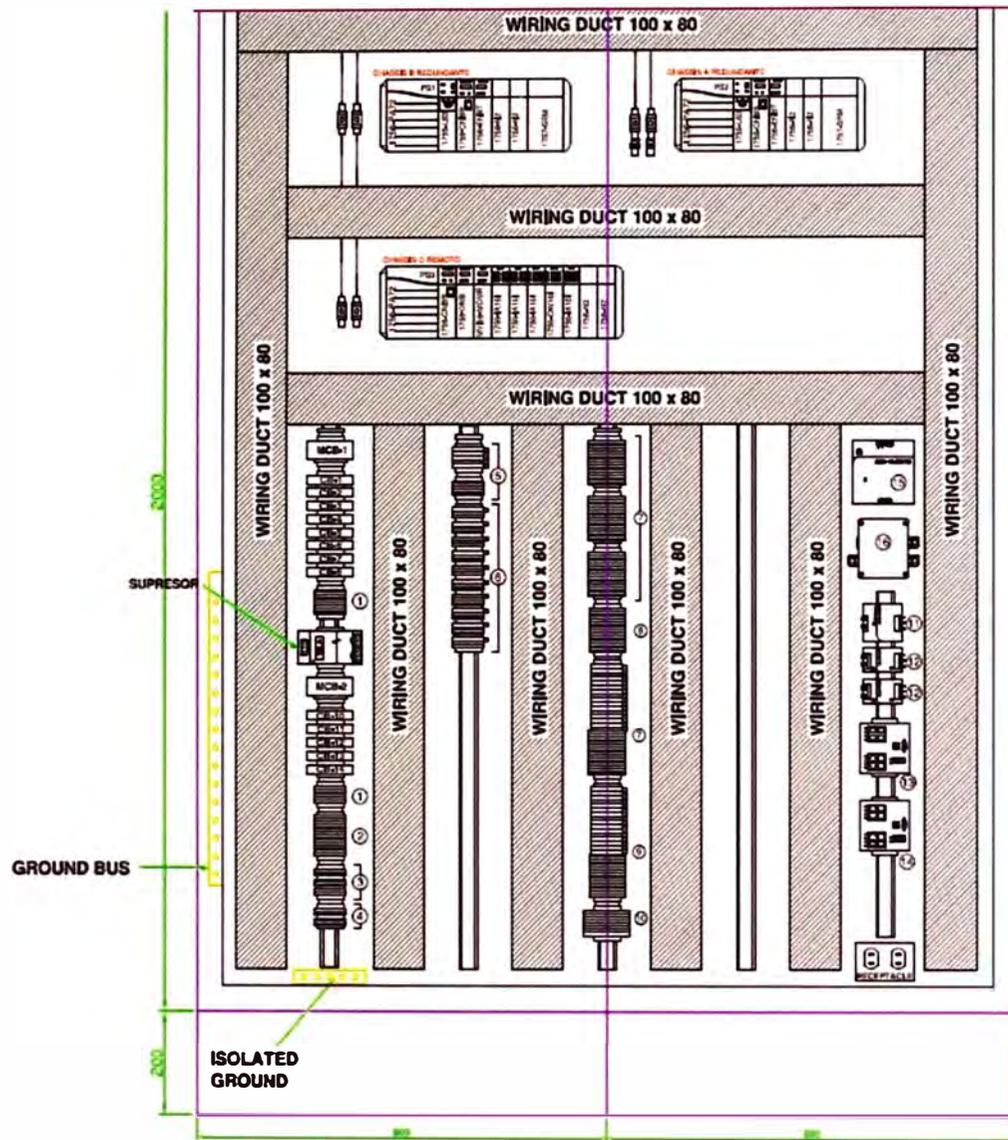
Figura 1.2 (documentos asociados 240-F-1001) Diagrama de flujo y granulometría del proyecto (fuente: GMI, personal)



**Figura 1.3** En la figura se muestra al molino de bolas v al molino SAG (fuente: minera Antamina)



**Figura 1.4** Sala Eléctrica donde se encuentra el CCM del proyecto (fuente: minera Antamina, personal)



LEYENDA	
MCB-1	MAIN C. BREAKER
CS-1	FTE, C.LOGIX PS1
CS-2	FTE C.LOGIX PS2
CS-3	FTE C.LOGIX PS3
CS-4	FTE 24VDC PS4 30w
CS-5	FTE 24VDC PS5 30w
CS-6	FTE DNET 24DC PS7
CS-7	LIGHT CABINET
CS-8	FAN CABINET

MCB-2	MAIN C. BREAKER
CS-10	FTE 24VDC PS6 120w
CS-11	INSTRUMENT. ESTB
CS-12	DISCRETE INPUT
CS-13	DISCRETE OUTPUT
CS-14	RECEPTACLE

(1)	NTB (1:5)
(2)	GTB (1:4)
(3)	DITB (3) BLOCK
(4)	DOTB (2) BLOCK
(5)	TB24v (5) BLOCK
(6)	INSTRUMENT (10)
(7)	1756-IA151 (4) BLOCK
(8)	1756-OW161 (1) BLOCK
(9)	IO DISCRETE LIBRE
(10)	IO ANALOG LIBRE
(11)	FTE, 24VDC PS4 1,20W
(12)	FTE, 24 PSS y PS6 30W(2)
(13)	SWTICH ETHERNET_1
(14)	SWTICH ETHERNET_2
(15)	FTE, DNET 24DC PS7
(16)	POWER TAP DNET

Figura 1.5 Layout Gabinete PCC-951 que es el mostrado en la foto anterior. Ver tb. figura 1.5.2 (fuente: CSI, personal)



**Figura 1.6** Layout Gabinete PCC-951 que es el mostrado en la foto anterior. Ver tb. figura 1.5.2 (fuente: CSI, personal)



**Figura 1.7** Faja transportadora 317-CVB-033 (fuente: minera Antamina, personal)

## 1.2 DOCUMENTOS ASOCIADOS

La documentación asociada al presente proyecto se encuentra basada en los siguientes archivos que para nuestro fin han sido colocados en la carpeta asociada al proyecto con los nombres dados a continuación:

<u>Nombre</u>	<u>Código</u>
Listado de Instrumentos	104-08615-240-LDE-J-01
Listado de Equipos	104-08615-240-LDE-E-01
Señales de Ingreso y Salida al Controlador	104-08615-240-SIS-J-01
Diagrama de Flujos	240-F-1001
Arquitectura de comunicación del sistema	240-J-4012-Rev0

### ***Diagramas esquemáticos de control (ver carpeta asociada al proyecto)***

Zaranda vibratoria banana 317-SCR-011	240-E-5008-Rev1
Zaranda vibratoria banana 317-SCR-012	240-E-5010-Rev1
Zaranda vibratoria banana 317-SCR-013	240-E-5012-Rev1
Faja transportadora 317-CVB-033	240-E-5016-Rev1
Faja transportadora 317-CVB-031 parte 1	240-E-5038-Rev1
Faja transportadora 317-CVB-031 parte 2	240-E-5039-Rev1
Faja transportadora 317-MAS-031A	240-E-5042-Rev1
Faja transportadora 317-CVB-032 parte 1	240-E-5045-Rev1
Faja transportadora 317-CVB-032 parte 2	240-E-5046-Rev1

Nota: La Chancadora Hidro-cono viene con esquema de control según su Vendor. Para mayor detalle el plano P&ID se encuentra en la Figura 1.3.4

### ***Planos y diagramas de tuberías e instrumentos (P&ID)***

Zona de Tripper 317-TRP-001 y Faja Transportadora 317-CVB-031	240-M-1003
Zona de Zarandas 317-SCR-011 y 317-SCR-012	240-M-1004
Zona de Chancadora Hydro-cone CH880 317-CRC-011	240-M-1005
Faja Transportadora 317-CVB-032	240-M-1006
Faja Transportadora 317-CVB-033	240-M-1007
Zaranda Húmeda 317-SCR-013	240-M-1008
Faja Transportadora 316-CVB-021	240-M-1010

De modo adicional se ha adjuntado una carpeta que contiene videos con la finalidad de tener una mejor comprensión de la ubicación y disposición de los equipos.

### 1.3 DESCRIPCIÓN A DETALLE DEL SISTEMA

El presente proyecto SAG MILL BYPASS CRUSHING CONV YING OPTION 5 tiene por finalidad implementar un sistema que permita efectuar el Bypass al Molino SAG, durante el tiempo de parada de planta debido principalmente al problema del cambio de estator, permitiendo que el proceso productivo en toda la mina continúe en su operación. Los parámetros principales de diseño para este sistema de “Bypass”, contempla una capacidad de 3000 Tn/h y material del tipo M1 (Cobre con bajo Bismuto). Dependiendo de las perforaciones y explosiones, existen diversos tipos de material que pasan por las fajas transportadoras; mayor detalle de las campañas se puede apreciar en el archivo SCADA.

El sistema está constituido principalmente por un Tripper estacionario (317-TRP-001) instalado, en la parte final del flujo de mineral (cabeza de faja). De la faja transportadora CVB-004, el cuál mediante compuertas electro-hidráulicas permite desviar de modo proporcional o íntegramente la carga proveniente de las fajas existentes 240-CVB-004 (Chancado Primario) y 316-CVB-028 (Chancado Pebbles) hacia la nueva faja transportadora 317-CVB-031 (Inicio de circuito Sistema Bypass) ó hacia la misma faja transportadora existente 240-CVB-004 (ingreso al Molino SAG), además de permitir dividir la carga entre dichas fajas transportadoras.

La faja 317-CVB-031 del Sistema Bypass, la cual tendrá 60 pulgadas de ancho y una capacidad de operación de 3774 Tn/h, transportará el mineral hacia un chute pantalón, mediante el cual se dividirá la carga a dos zarandas vibratorias secas del tipo banana 317-SCR-011 y 317-SCR-012 (proveedor Ludowici) de dos pisos (malla superior 75mm y malla inferior 38mm). Esta faja transportadora contendrá además un separador magnético de metales, un sistema de pesaje dinámico y un detector de metales, el cual se activará y mandará a parar a la faja en caso existan material ferro magnético de una dimensión considerable, capaz de dañar a los equipos de las siguientes etapas como podría darse en el caso de la chancadora Hidro-cono.

El material grueso de salida de las zarandas vibratorias tipo banana, mediante un chute descargará en una chancadora Hidro-cono CH880 (Vendor Sandvik). El material fino de salida de las zarandas vibratorias conjuntamente con el material de salida de la chancadora Hidro-cono, descargarán a través de una serie de chutes en la faja transportadora 317-CVB-032. Esta faja tendrá 60 pulgadas de ancho y una capacidad de operación de 3774 Tn/h, transportará y descargará el mineral mediante chute en la faja 317-CVB-033.

La faja 317-CVB-033, la cual tendrá 60 pulgadas de ancho y una capacidad de operación

de 3774 Tn/h, transportará y descargará el mineral mediante chute a una zaranda vibratoria húmeda (proveedor Ludowici).

La zaranda vibratoria húmeda 317-SCR-013 conjuntamente con el chute de descarga de finos de ésta y de la faja 317-CVB-033, contarán con líneas de alimentación de agua de proceso con el fin de conseguir una mezcla o pulpa de mineral adecuada previo al ingreso a la zaranda húmeda, de este modo se facilita el transporte de mineral en los chutes siguientes. El material fino de salida de la zaranda vibratoria húmeda descargará mediante chute y canaleta hacia los cajones de alimentación de ciclones existentes 310-MBL-001 y 310-MBL-002. El material grueso de salida de la zaranda vibratoria húmeda mediante chute descargará en la faja transportadora existente 316-CVB-021 (Chancado Pebbles).

Los materiales gruesos tratados en la Planta de Chancado de Pebbles retomarán al Sistema Bypass mediante la faja transportadora existente 316-CVB-028 que se encuentra actualmente conectada a la faja 240-CVB-004. El Sistema Bypass al Molino SAG considera el montaje e instalación de instrumentación típica de campo en:

Válvulas tipo cuchilla de Tripper Estacionario: 317-GVL-001 y 317-GVL-002.

Fajas Transportadoras: 317-CVB-031, 317-CVB-032, y 317-CVB-033.

Separador Magnético: 317-MAS-031

Zarandas Vibratorias: 317-SCR-011, 317-SCR-012 y 317-SCR-013

Chancadora Hidro-cono: 317-CRC-011

Chutes de Alimentación y Descarga 317-STP-041, 317-STP-042, 317-STP-044, 317-STP-045, 317-STP-046, 317-STP-047, 317-STP-048, 317-STP-049, 317-STP-050, 317-STP-053, 317-STP-054.

### **Componentes de la faja 317-CVB-031 (ver Figura 1.8)**

01 sistema de pesaje (incluye puente de pesaje en base a celdas de carga, sensor de velocidad, integrador electrónico y dispositivo de calibración por pesos estáticos), para el monitoreo del peso dinámico de material (Tn/h).

01 interruptor de velocidad cero de faja, como monitoreo de estado bajo y protección para la operación normal de la faja.

06 interruptores de des alineamiento de faja, como monitoreo de estado alto, alto-alto y protección para la operación del día a día de la faja transportadora.

02 detectores de ruptura de faja, como monitoreo de estado y protección para la operación normal de la faja sin pérdida de mineral.

06 interruptores de parada de emergencia, como monitoreo de estado y protección para la

operación normal de la faja.

02 sensores/transmisores de temperatura en poleas motrices, para el monitoreo de temperatura (°C) y protección para la operación normal de la faja.

02 dispositivos de indicación sonora (sirenas), como elementos de advertencia de operación de faja.

02 dispositivos de indicación luminosa (balizas), como elementos de advertencia de operación de faja. Dichos elementos deben ir montados en la cabeza y cola de la faja.

02 sensores/transmisores compactos de vibración en motor de faja, para el monitoreo de vibración y protección para la operación normal del motor.

02 sensores/transmisores compactos de vibración en reductor, para el monitoreo de vibración y protección para la operación normal de la faja.

05 sensores/transmisores compactos de temperatura en reductor, para el monitoreo de temperatura y protección para la operación normal de la faja.

#### **Componentes de la faja limpiadora 317-MAS-031(ver Figura 1.8)**

01 interruptor de velocidad cero de faja, como monitoreo de estado bajo y protección para la operación normal de la faja del separador.

01 dispositivo de indicación sonora (sirena), como elemento de advertencia de operación del separador magnético.

01 dispositivo de indicación luminosa (baliza), como elemento de advertencia de operación de separador magnético.

#### **Componentes de zarandas 317-SCR-011, 317-SCR-012 y 317-SCR-013 (ver figura 1.9 y 1.13)**

12 sensores/transmisores de vibración en total (4 en cada zaranda) suministrado por el proveedor Ludowici para el monitoreo de la vibración y protección de la operación normal de las zarandas.

Sensores detectores de atascamiento o nivel alto alto tilt switch.

#### **Componentes de Chancadora Hidro-cono 317-CRC-011 (ver figura 1.10)**

01 sensor/transmisor de velocidad del eje del motor de la chancadora suministrado por el proveedor Sandivk, para el monitoreo de velocidad y protección de la operación normal de la chancadora.

01 sensor/transmisor de nivel por ultrasonido suministrado por el proveedor Sandivk, para el monitoreo de nivel y protección de la operación normal de la chancadora.

En el detalle del funcionamiento de la chancadora se menciona una serie de

instrumentación, la cual será recepcionada por el sistema de control por medio del protocolo de comunicación Modbus RTU.

**Componentes de faja transportadora 317-CVB-032 (ver figura 1.11)**

01 interruptor de velocidad cero de faja, como monitoreo de estado bajo y protección para la operación normal de la faja.

06 interruptores de des alineamiento de faja, como monitoreo de estado alto y alto-alto y protección para la operación normal de la faja.

02 detectores de ruptura de faja, como monitoreo de estado y protección para la operación normal de la faja.

06 interruptores de parada de emergencia, como monitoreo de estado y protección para la operación normal de la faja.

02 sensores/transmisores de temperatura en poleas motrices, para el monitoreo de temperatura (°C) y protección para la operación normal de la faja.

02 dispositivos de indicación sonora (sirenas), como elementos de advertencia de operación de faja.

02 dispositivos de indicación luminosa (balizas), como elementos de advertencia de operación de faja.

02 sensores/transmisores compactos de vibración en motor de faja, para el monitoreo de vibración y protección para la operación normal del motor.

02 sensores/transmisores compactos de vibración en reductor, para el monitoreo de vibración y protección para la operación normal de la faja.

05 sensores/transmisores compactos de temperatura en reductor, para el monitoreo de temperatura y protección para la operación normal de la faja.

**Componentes de faja transportadora 317-CVB-033 (ver figura 1.12)**

01 interruptor de velocidad cero de faja, como monitoreo de estado bajo y protección para la operación normal de la faja.

04 interruptores de des alineamiento de faja, como monitoreo de estado alto y alto-alto y protección para la operación normal de la faja.

02 detectores de ruptura de faja, como monitoreo de estado y protección para la operación normal de la faja.

02 interruptores de parada de emergencia, como monitoreo de estado y protección para la operación normal de la faja.

02 sensores/transmisores de temperatura en poleas motrices, para el monitoreo de

temperatura (°C) y protección para la operación normal de la faja.

01 dispositivo de indicación sonora (sirena) como advertencia en operación de faja.

01 dispositivo de indicación luminosa (baliza), como elemento de advertencia de operación de faja

02 sensores/transmisores compactos de vibración en reductor, para el monitoreo de vibración y protección para la operación normal de la faja.

05 sensores/transmisores compactos de temperatura en reductor, para el monitoreo de temperatura y protección para la operación normal de la faja

### **Componentes para las líneas de agua del proceso (ver figura 1.13)**

En lo correspondiente a las líneas de suministro de agua de proceso, se ha considerado los siguientes instrumentos:

01 instrumento de medición de flujo del tipo electromagnético, para el monitoreo de caudal (m<sup>3</sup>/h) en la línea principal de suministro de agua de proceso hacia la zaranda húmeda y chutes descarga.

01 instrumento de medición de flujo de tipo electromagnético, para el monitoreo de caudal (m<sup>3</sup>/h) en línea de suministro de agua de proceso hacia el chute de descarga de finos de la zaranda húmeda.

01 válvula de control tipo bola con actuador neumático y posicionador electro neumático, para la regulación de caudal en la línea principal de suministro de agua de proceso hacia la zaranda húmeda y chutes de descarga.

01 válvula de control tipo bola con actuador neumático y posicionador electro neumático, para la regulación de caudal en la línea de suministro de agua de proceso hacia el chute de descarga de finos de la zaranda húmeda.

### **Componentes para los chutes de alimentación y descarga**

En los chutes de alimentación y descarga correspondientes al Tripper estacionario, fajas transportadoras, zarandas y chancadora, se ha considerado los siguientes instrumentos:

12 instrumentos de medición de nivel alto tipo tilt switch en total (1 por cada chute) para monitoreo de estado alto alto y protección de la operación normal de los componentes.

Nota: La instrumentación de campo correspondiente a los subsistemas de Tripper estacionario (Fortaulic) y chancadora Hidro-cono (Sandivk) son suministros y responsabilidad de los proveedores.

A continuación se muestran los planos P&ID correspondiente a las todas las etapas o áreas involucradas:

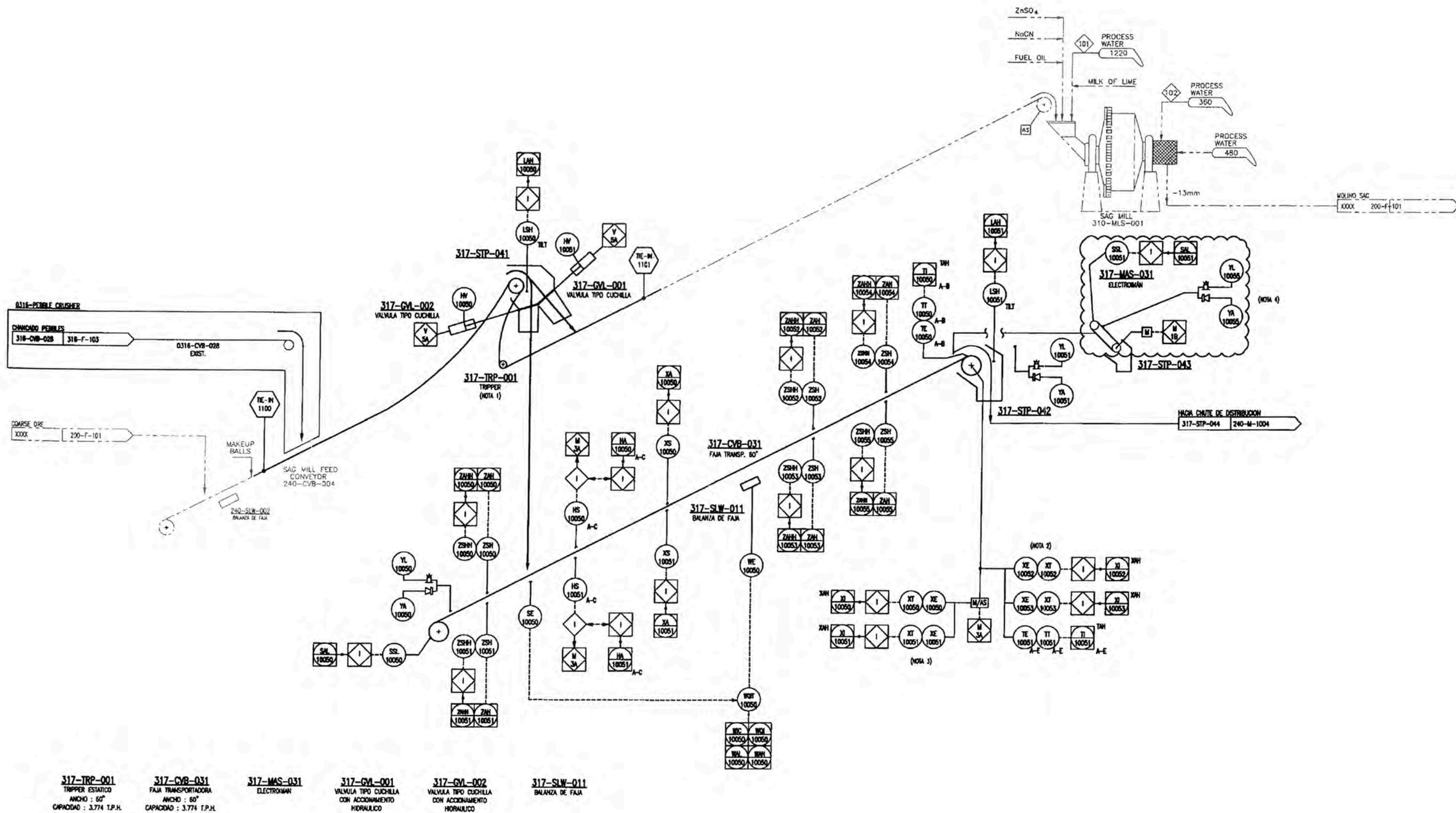


Figura 1.8 Instrumentos en faja transportadora 317-CVB-031, 317-MAS-031A (fuente: GMI)

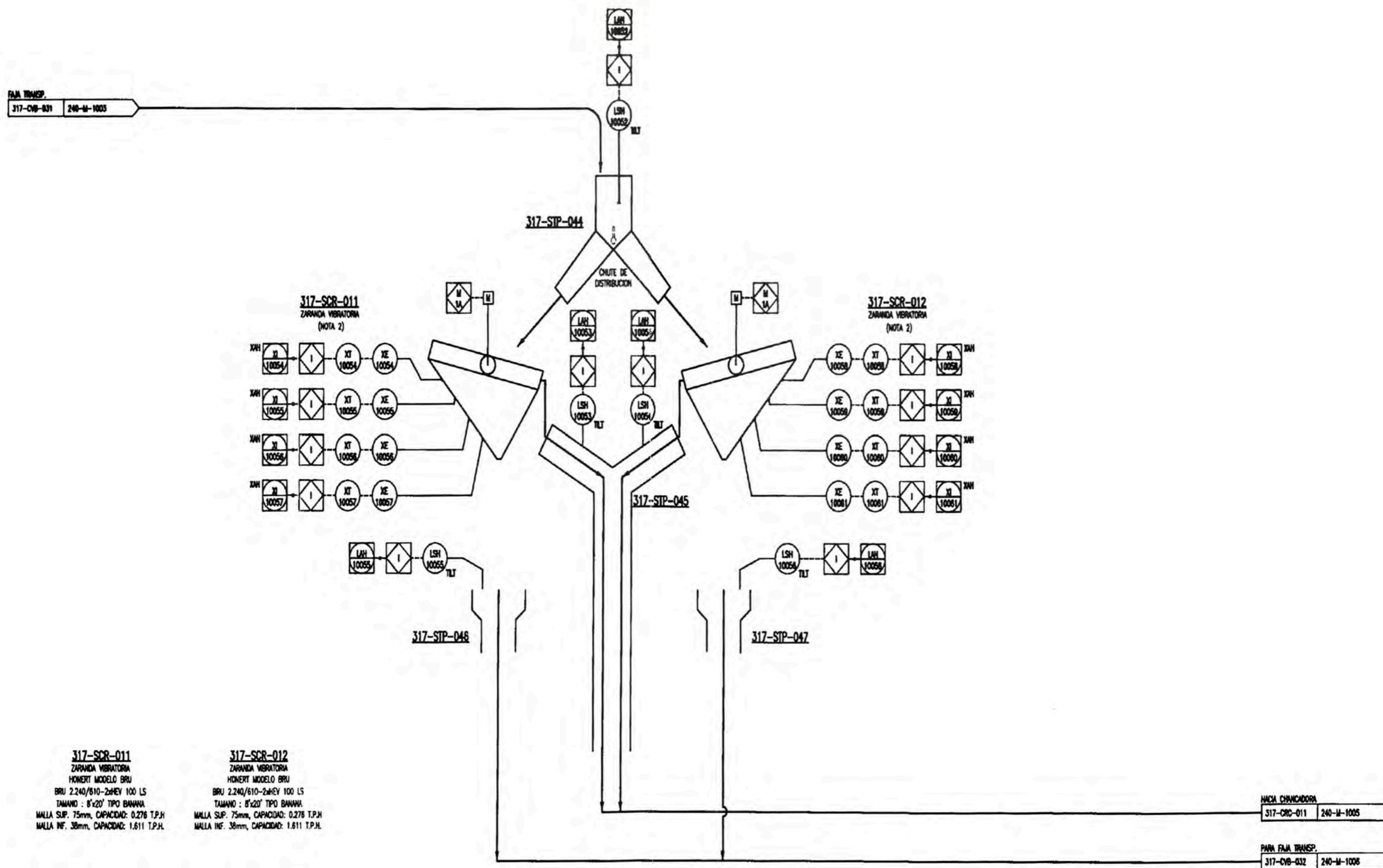


Figura 1.9 Instrumentos en zaranda seca 317-SCR-011, 317-SCR-012 (fuente: GMI)

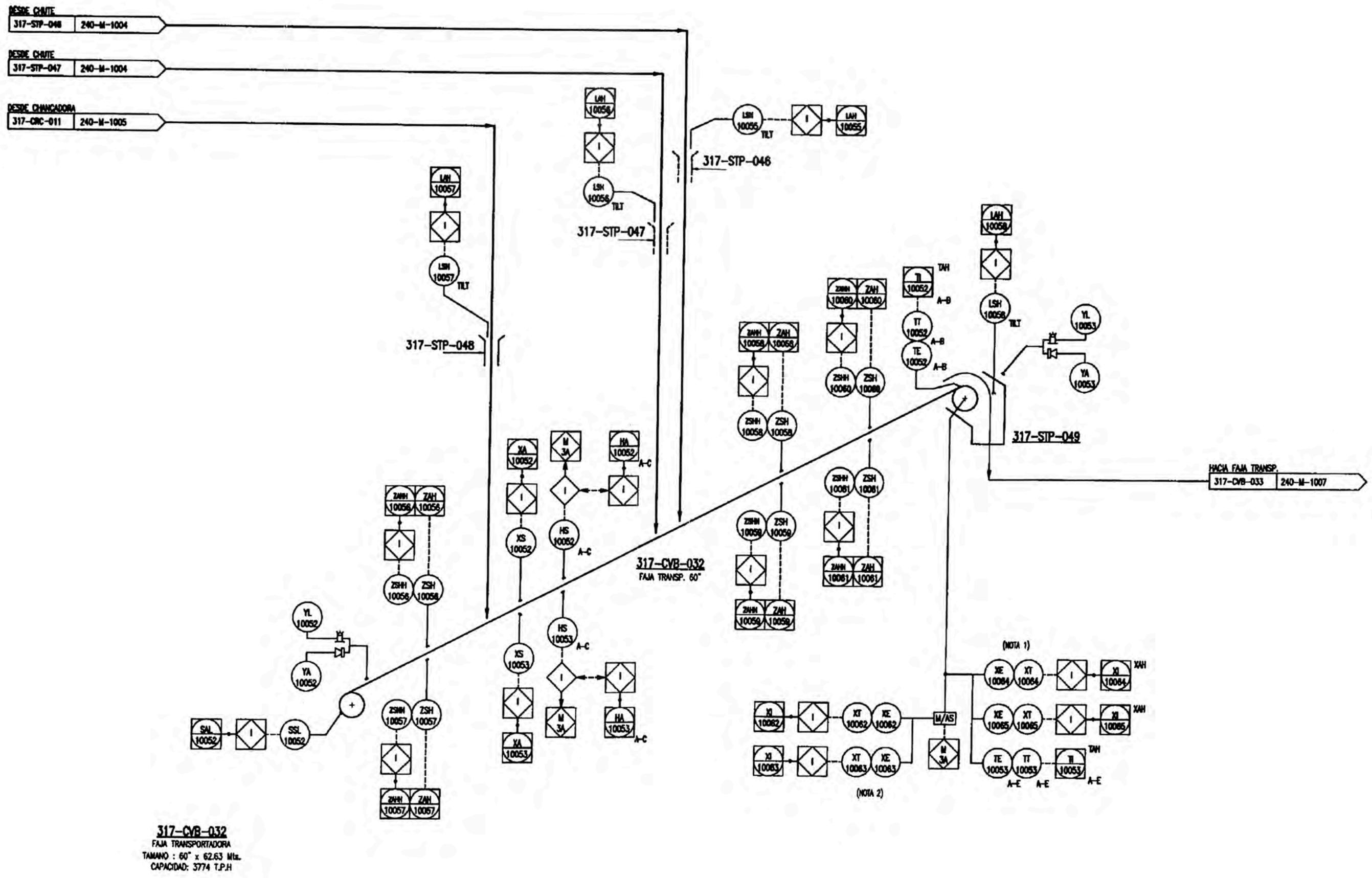


Figura 1.10 Instrumentos en faja transportadora 317-CVB-032 (fuente: GMI)

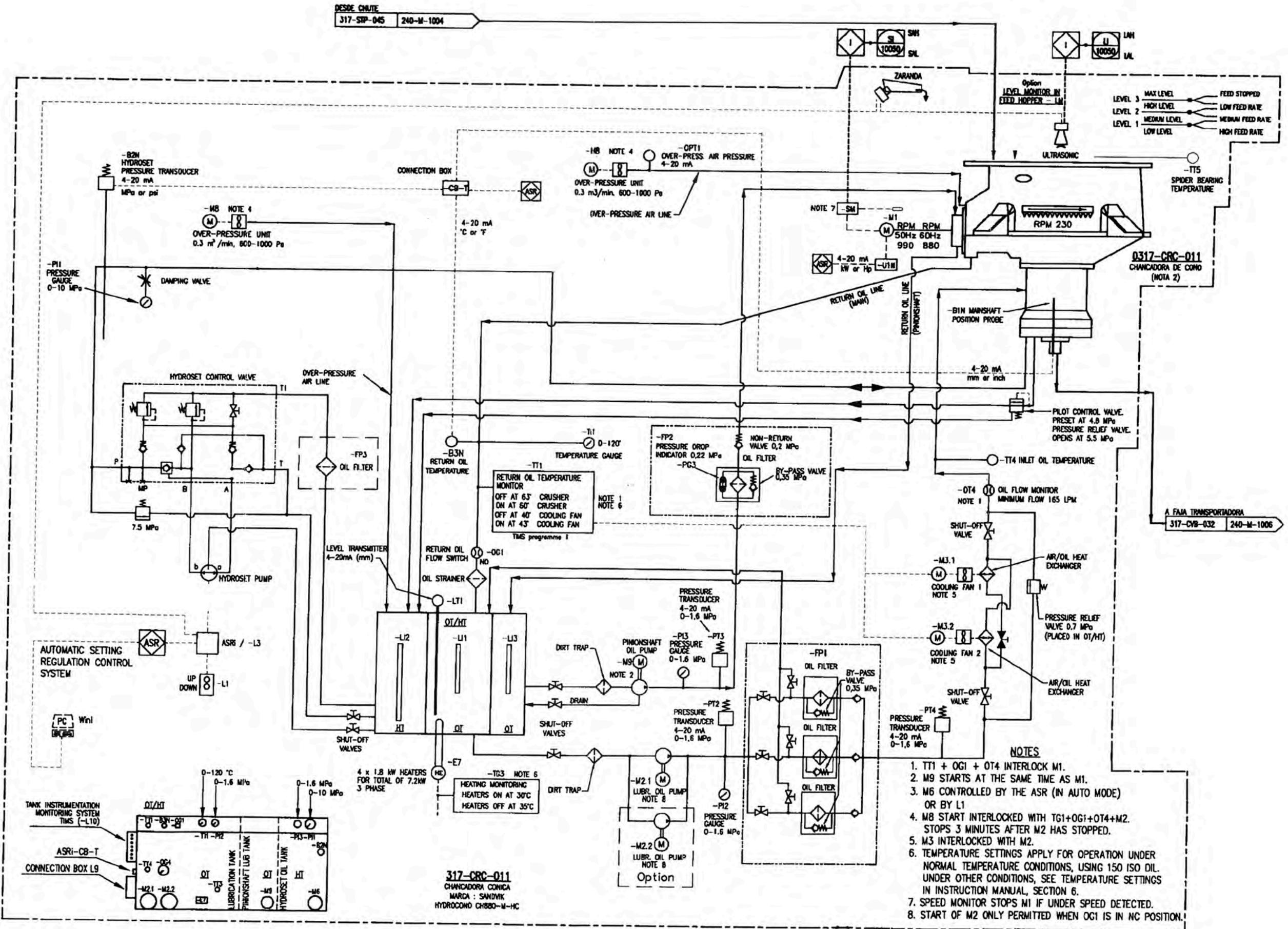
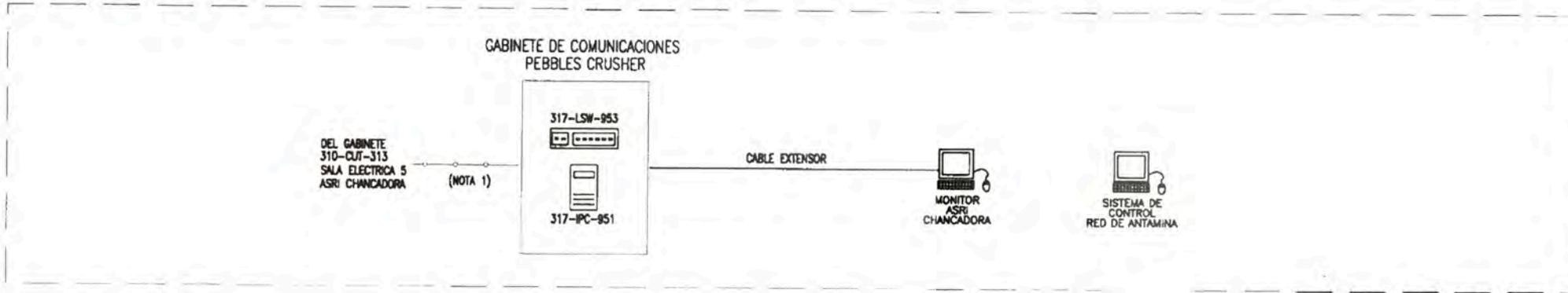


Figura 1.11 Instrumentos en chancadora hidrocono 317-CRC-011 (fuente: GMI)





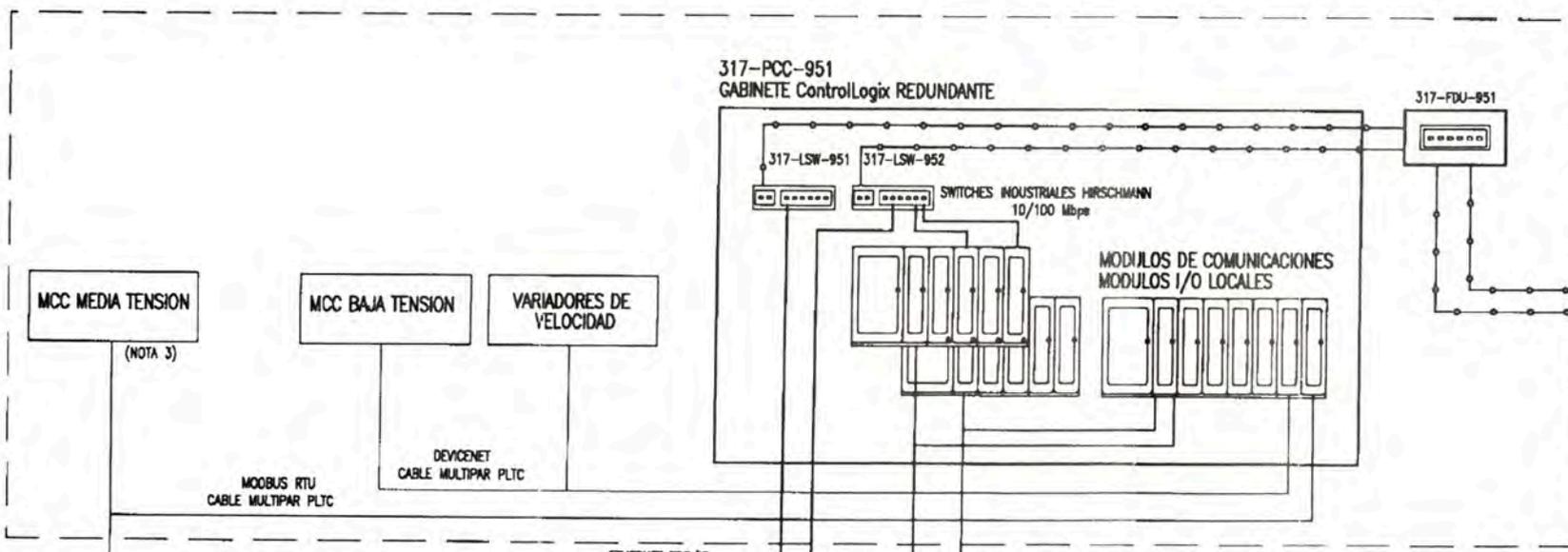
SALA DE CONTROL DE PROCESOS



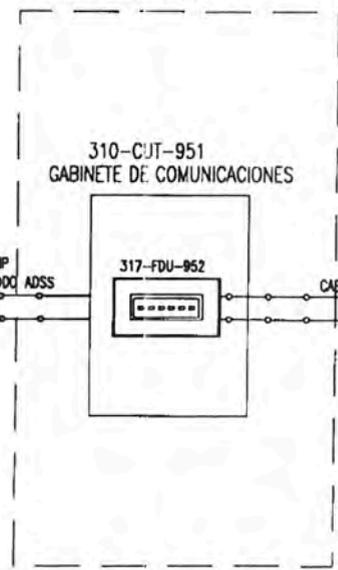
**LEYENDA:**

- CABLE DE COMUNICACIONES SEGUN SE INDICA
- CABLE FIBRA OPTICA

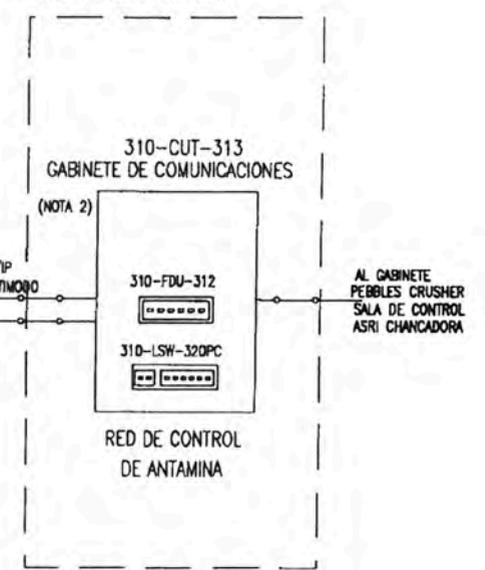
SALA ELECTRICA 317-EHU-171



SALA ELECTRICA 3



SALA ELECTRICA 5



CAMPO

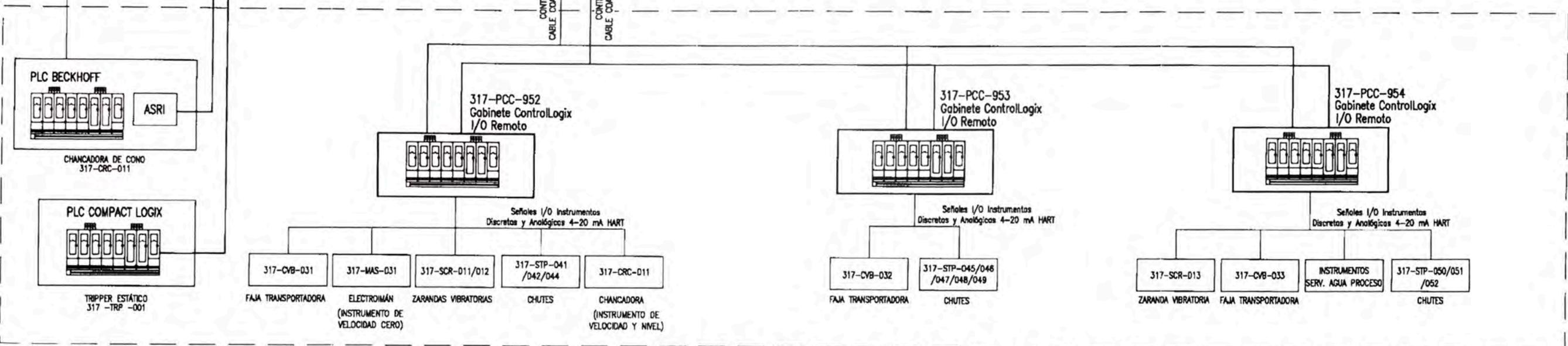


Figura 1.14 Arquitectura del sistema de control (fuente: GMI)

## 1.4 SISTEMA DE CONTROL

La plataforma del sistema de control para el presente proyecto estará basada en un Sistema Redundante basado en procesadores ControlLogix L63 (Allen Bradley) con un gabinete principal y 03 gabinetes RIO secundarios (Remote Input Output), con la capacidad de interconexión con otros equipos mediante protocolos HART, Modbus RTU, DeviceNet y Ethernet IP.

Los gabinetes del sistema ControlLogix (principal y remotos) que formarán parte de la red de control Antamina, presentan la siguiente identificación:

<u>Nombre</u>	<u>Tag Tablero</u>
Gabinete Principal	317-PCC-951
Gabinete RIO 1	317-PCC-952
Gabinete RIO 2	317-PCC-954
Gabinete RIO 3	317-PCC-955

El detalle de los planos lay-out, diagrama de conexiones y lista de componentes de los tableros se encuentran en la carpeta de referencia del proyecto. La interface del operador está dada por el software HMI Intouch, conjuntamente con los equipamientos de cómputo existentes ubicados en la Sala de Control (4to. Piso Concentradora – Sala de Control). El software HMI en mención será desarrollado bajo la versión 10.1 y constará con licencia para el runtime y el modo edición.

Referente a las técnicas de control que serán considerados para este sistema, se ha establecido los siguientes tipos:

Control discreto para arranque y parada secuencial en la operación de las fajas transportadoras, separador magnético, zarandas vibratorias, y chancadora.

Control continuo para la regulación de ingreso de agua de proceso a la zaranda húmeda vibratoria y chute de descarga de finos de ésta. Este mismo tipo de control será usado para las maniobras de apertura y cierre proporcional en las compuertas tipo cuchilla en el tripper de descarga.

Ambas técnicas serán descritas a detalle en la sección 1.7; las siguientes variables físicas para este proceso deberán ser monitoreadas, historizadas y procesadas por los equipamientos de control:

Indicación y registro de peso dinámico de mineral en faja transportadora 317-CVB-031.

Indicación y registro de peso acumulado de mineral en faja 317-CVB-031.

Indicación y registro de vibración en motores 317-CVB-031 y 317-CVB-032.

Indicación y registro de vibración en reductores de fajas transportadoras 317-CVB-031, 317-CVB-032 y 317-CVB-033.

Indicación y registro de temperatura en reductores de fajas transportadoras 317-CVB-031, 317-CVB-032 y 317-CVB-033.

Indicación y registro de temperatura en poleas motrices de fajas transportadoras 317-CVB-031, 317-CVB-032 y 317-CVB-033.

Alarmas de Vibración alta en motores de fajas transportadoras 317-CVB-031 y 317-CVB-032. Alarmas de Vibración alta en reductores de fajas transportadoras 317-CVB-031, 317-CVB-032 y 317-CVB-033.

Alarmas de Temperatura alta en reductores de fajas transportadoras 317-CVB-031, 317-CVB-032 y 317-CVB-033.

Alarmas de Temperatura alta en poleas motrices de fajas transportadoras 317-CVB-031, 317-CVB-032 y 317-CVB-033.

Status y alarma de estado de velocidad cero en fajas transportadoras y separador magnético 317-CVB-031, 317-CVB-032, 317-CVB-033 y 317-MAS-031.

Status y alarma de estado de desalineamiento alto y alto-alto en fajas transportadoras 317-CVB-031, 317-CVB-032 y 317-CVB-033.

Status y alarma de estado de ruptura en fajas transportadoras 317-CVB-031, 317-CVB-032 y 317-CVB-033.

Status y alarma de estado de parada de emergencia en fajas transportadoras 317-CVB-031, 317-CVB-032 y 317-CVB-033.

Indicación y rgstr. de vibración en Zarandas 317-SCR-011, 317-SCR-012 y 317-SCR-013.

Indicación y registro de velocidad en motor de chancadora Hidro-cono 317-CRC-011.

Indicación y registro de nivel en chancadora Hidro-cono 317-CRC-011.

Alarmas de nivel alto y bajo en la chancadora Hidro-cono.

Alarmas de velocidad alta y baja en la chancadora Hidro-cono.

Indicación y registro de flujo de ingreso de agua de proceso en línea principal 0317-PW-14"-C1E2A-001.

Indicación y registro de flujo de ingreso de agua de proceso en línea hacia el chute de descarga de finos 0317-PW-10"-C1 E2A-003.

Indicación y control de porcentaje de apertura de válvula de control en línea principal 0317-PW-16"-C1E2A-001.

Indicación y control de porcentaje de apertura de válvula de control en línea hacia el chute

de descarga 0317-PW-12"-C1 E2A-003.

Alarma de flujo bajo de agua de proceso en línea principal 0317-PW-14"-C1 E2A-001.

Alarma de flujo bajo de agua de proceso hacia el chute de descarga de finos 0317-PW-10"-C1E2A-003.

Status y alarma de estado de nivel en chutes 317-STP-041, 317-STP-042, 317-STP-044, 317-STP-045, 317-STP-046, 317-STP-047, 317-STP-048, 317-STP-049, 317-STP-050, 317-STP-053, 317-STP-054.

Control de arranque y parada de fajas transportadoras 317-CVB-031, 317-CVB-032 y 317-CVB-033.

Control de arranque y parada de separador magnético 317-MAS-031.

Control de arranque y parada de motor de chancadora Hidro-cono 317-CRC-011.

Control de arranque y parada de zarandas vibratorias 317-SCR-011, 317-SCR-012 y 317-SCR-013.

**Nota:** El proveedor del sistema de control redundante ControlLogix será responsable del desarrollo de las rutinas de control para los procesadores y de las pantallas de supervisión en el sistema SCADA.

## 1.5 SISTEMA DE COMUNICACIONES

Los protocolos de comunicación contemplados para el presente proyecto con el fin de integrar y realizar el intercambio de datos entre los diversos equipamientos de control, monitoreo, supervisión son los siguientes:

Red basada en protocolo HART, para la configuración, caracterización o seteo de parámetros en los instrumentos de campo inteligentes como son el caso de los flujómetros y las válvulas con pulmón neumático para el control proporcional del agua de proceso ligado a la línea de agua en la zaranda húmeda 317-SCR-013. Este protocolo está orientado a la comunicación con dispositivos de campo, y permite extraer data adicional de diagnóstico de estado del instrumento, calibración, etc.

Red basada en protocolo Modbus RTU, para la integración y comunicación del sistema de control redundante ControlLogix con el MCC de Media tensión y es usado también para la comunicación con el controlador propietario Beckhoff de la Chancadora Hidro-cono. Sobre este protocolo de comunicación antiguo de velocidad baja se extraerán los datos solo de monitoreo y diagnóstico para los transformadores de alimentación en la sala de control, relés de protección de las barras de cobre (feeders) y relés de protección para motores. Para ver mayor detalle del mapeo se puede apreciar la tabla 4.2.1 y 4.2.2

Red basada en protocolo DeviceNet, para la integración y comunicación del sistema de control redundante ControlLogix con el MCC de Baja y Variadores de Velocidad que maniobran dos motores de 448KW y 336KW. Sobre este protocolo se establecerán el intercambio de datos de los arrancadores para los diversos motores afines. El protocolo DeviceNet ha sido creado para aplicaciones en donde se requiera alta velocidad de comunicación en un distancia relativamente reducida. Entre sus ventajas destacan la alta inmunidad a las EMI y su alta velocidad de intercambio de información.

Red basada en protocolo ControlNet, para la integración y comunicación del sistema RIO. Debido a que el gabinete principal PCC-951 que contiene al procesador L63 debe realizar un control sobre los gabinetes secundarios PCC-952, PCC-953 y PCC-954 (ver Figura 1.15) se necesita hacer uso de un cable coaxial RG6 de modo que se pueda a través de la red ControlNet tener el control de las entradas y salidas remotas. Bajo el uso de este protocolo, evitamos centralizar todos los cables en la sala eléctrica lo cual nos permite tener un ahorro muy importante en el tendido de cableado duro y cableado de instrumentación. Tanto el protocolo ControlNet como el DeviceNet son soportados por la ODVA. Dicho organismo se encarga de brindar asesoramiento y normalizar tecnologías basadas en CIP [12].

Red basada en protocolo Ethernet IP, para la integración y comunicación del sistema redundante ControlLogix con la Red de Control Antamina. A través de este protocolo se comunican dos tipos de controladores uno de gama media y otro de alta en la familia AB. Para nuestro proyecto el Tripper que contiene dos compuertas tipo cuchilla es controlado por un Compactlogix L32E. Otro uso de este protocolo es en el intercambio de comunicación entre el controlador y el sistema SCADA Intouch. Ethernet IP es un protocolo de comunicación que viene ganando mucho mercado para aplicaciones donde se requiera intercambiar en tiempo real información con un sistema de visualización. Es importante mencionar que mediante ControlNet, DeviceNet o el protocolo DH+ también podemos intercambiar información con un sistema SCADA pero estos protocolos nacieron orientados al intercambio de información de otro tipo de componentes por lo que es más eficaz y óptimo usar Ethernet IP para control y monitoreo desde un SCADA. Ver bibliografía link de la organización ODVA para verificar sustentación mencionada líneas detrás [12].

Red basada en protocolo Ethernet IP, para la integración y comunicación del ASRI de la Chancadora Hidro-cono con los ASRI de las Chancadoras Hidro-cono de la Planta de

Pebbles Crusher existentes. En la Figura 1.14 se puede apreciar el sistema de comunicaciones para el proyecto.

**Nota:** El tendido e instalación de los cables de comunicaciones para la instrumentación de campo, sala y para el cableado correspondiente a los motores de campo que ingresan al Centro de Control de Motores (MCC por sus siglas en inglés) ha sido elaborado por otro contratista, con el apoyo y asistencia en terreno, desde sala de control y desde sala eléctrica, del proveedor del sistema de control redundante ControlLogix (Control System). El proveedor del sistema de control redundante ControlLogix (con procesador lógico L63) será responsable del desarrollo de las rutinas de comunicaciones, integración y configuración de señales de comunicaciones con equipamiento de terceros, así como de la integración total del sistema de control redundante a la Red de Control de Antamina ubicada en la sala de control.

**Tabla 1.1** Comparativa entre protocolos

(fuente: [www.aie.cl/files/file/comites/ca/articulos/agosto-06.pdf](http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/articulos/agosto-06.pdf))

GENERAL	AS-Interface	Interbus	Profibus	DeviceNet	Modbus-1	Ethernet
Disponible desde	1995	1988	1990	1995	1979	1975
Fabricante	AS-Interface Consortium (Germany)	Phoenix (Germany)	Profibus Consortium (Germany)	Omron, Rockwell	Modicon / Gould / Groupe Schneider	Xerox (US)
Estándar	EN 50295, IEC 62026/2, IEC 947	DIN 19258, EN 50254/1, IEC 61158 Type 8	DIN 19245, EN 13321/1 (FMS), EN 50254/2, EN50170/2, IEC 61158 Type 3, SEMI E54.8 (DP)	ISO 11898	No international standard.	IEEE 802.3
Website	<a href="http://www.as-interface.net">www.as-interface.net</a>	<a href="http://www.interbusclub.com">www.interbusclub.com</a>	<a href="http://www.profibus.com">www.profibus.com</a>	<a href="http://www.odva.org">www.odva.org</a>	<a href="http://www.modbus.org">www.modbus.org</a>	
Variantes	V1.0, V2.0, V2.10, V2.11	V1, V2, V3, V4, Interbus/Loop	FMS, PD, PA		ASCII, RTU (Remote Terminal Unit)	10BaseT 100BaseTX
Aplicable para E/S sensores / actuadores	Sí (especialmente dedicado para ello)	Si	No (demasiado complejo, y hardware excesivo)	Si	No	Hardware excesivo
¿Aplicable a E/S remotas?	Limitado a 4 E/S digitales o 2 analógicas	Si	Si	Si	Si	Si
Aplicable para comunicación entre controladores o equipos inteligentes	No	Limitado	Si	Si	Si	Si
Variante más empleada	V2.0	V4	DPV1		RTU	10BaseT, 100BaseTX
Áreas de aplicación	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA) parcialmente.	Industria discreta.	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA).	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA).	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA).	Niveles medio y alto de automatización industrial.
Competidor más importante	Ninguno	Profibus	Interbus, CAN, Foundation	Profibus, Modbus	Profibus, Devicenet	Ninguno
Velocidades	167kb	500kb	31.5kb	500kb	115.2kb	---



GABINETE 317-PCC-951													
PS	CPU	Control Net	Ethernet	-	-	Redundancia 1757	PS	CPU	Control Net	Ethernet	Redundancia 1757		
1756-PA72	1756-L63	1756-CNBR	1756-ENBT	1756-N2 No Usado	1756-N2 No Usado	1757-SRM	1756-PA72	1756-L63	1756-CNBR	1756-ENBT	1756-N2 No Usado	1756-N2 No Usado	1757-SRM
	Slot 0	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5 y 6		Slot 0	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5 y 6

PS	Control Net	Device Net	Modbus RTU	DI	DI	DI	DO	DI	-	-
1756-PA72	1756-CNBR	1756-DNB	Modbus-MCNR	1756-IA16I	1756-IA16I	1756-IA16I	1756-OW16I	1756-IA16I	1756-N2 No Usado	1756-N2 No Usado
	Slot 0	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6	Slot 7	Slot 8	Slot 9

GABINETE RIO 317-PCC-952										
PS	Control Net	DI	DI	DI	DO	AI	AI	AI	AI	-
1756-PA72	1756-CNBR	1756-IA16I	1756-IA16I	1756-IA16I	1756-OW16I	1756-IF8H	1756-IF8H	1756-IF8H	1756-IF8H	1756-N2 No Usado
	Slot 0	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6	Slot 7	Slot 8	Slot 9

GABINETE RIO 317-PCC-953										
PS	Control Net	DI	DI	DI	DO	AI	AI	-	-	-
1756-PA75	1756-CNBR	1756-IA16I	1756-IA16I	1756-IA16I	1756-OW16I	1756-IF8H	1756-IF8H	1756-N2 No Usado	1756-N2 No Usado	1756-N2 No Usado
	Slot 0	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6	Slot 7	Slot 8	Slot 9

GABINETE RIO 317-PCC-954										
PS	Control Net	DI	DI	DO	AI	AI	AI	AO	-	-
1756-PA75	1756-CNBR	1756-IA16I	1756-IA16I	1756-OW16I	1756-IF8H	1756-IF8H	1756-IF8H	1756-OH8F	1756-N2 No Usado	1756-N2 No Usado
	Slot 0	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6	Slot 7	Slot 8	Slot 9

Figura 1.15 (relacionado con Figura 1.14)

Controladores asociados a Gabinetes instalados (fuente: personal)

## **1.6 FILOSOFÍA DE CONTROL**

A continuación se detalla las técnicas de control que se han usado con la finalidad de poder cumplir con la filosofía de control descrita.

### **1.6.1 CONTROL DISCRETO**

Para el control discreto, todos los mandos arranque/parada y las secuencias de operación consideradas para los equipos principales del Sistema Bypass al molino SAG son programados y actualizados en el Sistema de Control Redundante ControlLogix. Los equipos principales del Sistema Bypass al molino SAG tendrán la capacidad de ser operados local o remotamente (por medio de botoneras locales o por medio del sistema SCADA), contarán con enclavamientos respecto a las condiciones de operación y elementos de protección asociados.

Los componentes asociados a este tipo de control básicamente lo constituyen: Interruptores de protección, señalización en fajas transportadoras, separador magnético, instrumentos de medición de nivel alto en chutes, instrumentos de medición de temperatura en poleas motrices de fajas, instrumentos de medición de temperatura y vibración en reductores de fajas, instrumentos de medición de vibración en motores de fajas y zarandas, instrumentos de medición de ruptura de faja transportadora, switch de velocidad cero en faja, botoneras de campo, etc.

El sistema de control considera estados, enclavamientos y comandos remotos cableados.

La estrategia de control para esta parte, debe considerar lo siguiente:

El sistema será normalmente controlado por un operador el cual se encontrará en la sala de control, ubicada en el 4° piso de la planta concentradora.

Las botoneras de campo con los selectores de local y remoto son las únicas encargadas de seleccionar el tipo de funcionamiento de los diversos equipos.

Las fajas transportadoras, chancadora, separador magnético y zarandas vibratorias podrán ser arrancadas y operadas de forma remota o local, dependiendo de la posición del selector (Local/Remoto) ubicado en la botonera de campo.

En modo local los botones Jog y Stop puede ser usado para operar el funcionamiento de los motores. Se debe tener en cuenta que para el comando Jog se debe tener presionado dicho botón por un lapso mayor de 30 segundos (tiempo en el cual se activa una sirena y circulina) para que luego se enciendan los motores que correspondan.

En modo remoto el botón Jog está deshabilitado.

Por razones de seguridad el mando de parada local y remota siempre deben estar

habilitados.

El cambio de modo remoto a local detendrá previamente la operación de los componentes del sistema. Este acto causará un interlock del tipo EPI, en los capítulos siguientes se dará más detalle de los diversos interlock del sistema.

Los enclavamientos del sistema de control serán divididos en tres grupos para cada etapa:

Enclavamiento por seguridad o protección de equipos EPI

Enclavamiento por seguridad o protección de equipos externos EEI

Enclavamientos condicionales permisivos PMS

Los enclavamientos permisivos y de proceso se mantienen deshabilitados en modo local, siendo el único responsable del encendido y apagado de los equipos, el o los operadores de campo que dirijan las operaciones. Se debe tener en cuenta que en todo momento el sistema de control continuará monitoreando e historizando las diversas variables del proceso. Los enclavamientos de seguridad o protección de equipos se deberán mantener habilitados todo el tiempo.

En modo remoto los motores de los componentes del Sistema Bypass al molino SAG (Fajas transportadoras, faja de separador magnético, motor de chancadora y zarandas) deberán ser arrancados de manera secuencial o de manera directa desde la sala de control. Los enclavamientos detendrán la operación hasta que la causa del enclavamiento haya sido superada o rectificada.

La siguiente lista según aplique, será continuamente monitoreado por el sistema de control:

Motor en marcha.

Horómetros para los diversos motores implicados.

Motor en modo local o remoto.

Motor listo.

Motor con falla.

Des alineamiento y sobre des alineamiento en faja transportadora.

Velocidad cero en faja transportadora y faja de separador magnético.

Ruptura en faja transportadora.

Parada de emergencia en faja transportadora.

Nivel alto en chute.

Nivel alto en Chancadora.

Velocidad baja en Chancadora.

Temperatura alta en poleas motrices de fajas transportadoras.

Temperatura alta en reductor de faja transportadora.

Vibración alta en motor.

Vibración alta en reductor.

Vibración alta en zarandas.

Los siguientes eventos y parámetros serán continuamente monitoreados por el sistema de control:

Parada de proceso por enclavamiento.

Parada por enclavamiento de seguridad o protección de equipo.

Parada por cambio de modo remoto a local.

Tiempo de operación de fajas transportadoras.

Tiempo de operación de faja de separador magnético.

Tiempo de operación de motor de chancadora.

Tiempo de operación de zarandas.

Las secuencias de operación para los equipos principales del Sistema Bypass al molino SAG, considera una secuencia de arranque en condiciones normales, una secuencia de parada en condiciones normales y una secuencia de parada en condiciones de emergencia.

La diferencia más importante entre la parada en condiciones normales y la parada en condiciones de emergencia radica en que la primera manda una señal a los arrancadores para apagar los motores y en el segundo caso se corta de modo inmediato la alimentación al motor por medio de los contactores principales de línea para el motor que corresponda. Este tipo de parada detiene en menor tiempo el movimiento de los motores pero acelera su envejecimiento y mantenimiento.

Para dar inicio a la secuencia de arranque del Sistema Bypass al molino SAG en condiciones normales se debe verificar y cumplir previamente las siguientes condiciones en los sistemas indicados:

Sistema de faja transportadora CVB-004 y feeders detenidos.

Sistema de planta de Pebbles Crusher parcialmente arrancado y operando sin carga (Fajas 21, 22, 23, 24, 25 y zarandas).

Sistema Bypass a molino SAG detenido con direccionamiento de carga previamente establecido en compuertas del Tripper.

La secuencia de arranque de los equipos principales del Sistema Bypass al molino SAG en condiciones normales, debe considerar el siguiente orden:

Arranque de Zaranda Vibratoria 317-SCR-013 (No incluye suministro de agua de proceso, ver control continuo).

Arranque de Faja Transportadora 317-CVB-033.

Arranque de Faja Transportadora 317-CVB-032.

Arranque de Chancadora Hidro-cono 317-CRC-011.

Arranque en Simultáneo de Zarandas Vibratorias 317-SCR-011 y 317-SCR-012.

Arranque de Faja de Separador Magnético 317-MAS-031.

Arranque de Faja Transportadora 317-CVB-031.

Indicación para arranque de Sistema de Faja 4 y feeders, así como del total del sistema de planta de Pebbles Crusher (fajas 26, 27, 28, Chancadoras y Feeders o alimentadores)

En la secuencia indicada, para el arranque de cada equipo principal, se debe considerar un tiempo de espera (retardo) de 30 segundos luego de haber arrancado el equipo principal anterior, según el orden establecido.

Para el arranque en las fajas transportadoras y faja del separador magnético, previamente se debe realizar la activación temporal de los dispositivos de indicación luminosa y sonora (baliza y sirena) por un intervalo de tiempo de 30 segundos.

Si durante la secuencia se presenta el caso que en algún equipo principal no sea posible su arranque por condiciones de protección u otro evento, se debe abortar la secuencia y realizar la parada de equipos principales ya arrancados, de forma manual remota ó local.

La secuencia de arranque tiene en principio la prioridad de ser realizada en forma manual remota, y según el requerimiento del cliente se tendría la posibilidad de ser llevada a cabo en forma automática.

Para dar inicio a la secuencia de parada del Sistema Bypass al molino SAG en condiciones normales, se debe verificar y cumplir previamente las siguientes condiciones en los sistemas indicados:

Sistema de Faja Transportadora 4 y feeders detenido.

Sistema de planta de Pebbles Crusher parcialmente detenido (Fajas 26, 27, 28, chancadoras y feeders).

Sistema Bypass a molino SAG operando en condiciones normales, considerando el cierre de compuerta del Tripper referente al direccionamiento de carga.

Para la secuencia de parada de los equipos principales del Sistema Bypass al Molino SAG en condiciones normales se debe considerar el siguiente orden:

Parada en simultáneo de Faja Transportadora 317-CVB-031 y Separador Magnético 317-

MAS-031.

Parada en simultáneo de Zarandas Vibratorias 317-SCR-011 y 317-SCR-012.

Parada de Chancadora Hidro-cono 317-CRC-011.

Parada de Faja Transportadora 317-CVB-032.

Parada de Faja Transportadora 317-CVB-033.

Parada de Zaranda Vibratoria 317-SCR-013.

Indicación para parada total del sistema de planta de Pebbles Crusher (Fajas 21,22, 23, 24, 25 y zarandas)

En la secuencia indicada, para la parada de cada equipo principal, se debe considerar un tiempo de espera de 5 segundos luego de haber parado el equipo principal anterior, según el orden establecido.

La secuencia de parada en condiciones normales, tiene en principio la prioridad de ser realizada en forma automática, y según el requerimiento del cliente se tendría la posibilidad de ser llevada a cabo en forma manual remota. Para la secuencia de parada de los equipos principales del Sistema Bypass al Molino SAG en condiciones de emergencia se debe considerar el siguiente orden:

Indicación en simultáneo para parada de Faja Transportadora 4 y feeders, así como de parada parcial del Sistema de planta de Pebbles Crusher (Fajas 26, 27, 28, chancadoras y feeders).

Indicación para cierre de compuertas del Tripper referente al direccionamiento de carga hacia el Sistema Bypass a molino SAG.

Parada de equipos principales según orden inverso establecido para la secuencia de parada en condiciones normales, a partir del equipo en donde se haya producido la emergencia.

A continuación, parada de equipos principales según orden establecido para la secuencia de parada en condiciones normales, a partir del equipo en donde se haya producido la emergencia.

Indicación para parada total del sistema de planta de Pebbles Crusher (Fajas 21, 22, 23, 24, 25 y zarandas).

La secuencia de parada de los equipos principales del Sistema Bypass al Molino SAG en condiciones de emergencia estaría dado en función a los enclavamientos por seguridad o protección de equipos, por operación de proceso ó por condicionales permisivos. Los valores de tiempos indicados anteriormente son referenciales y pueden ser ajustados según requerimiento del cliente ó resultados de campo durante la etapa de comisionamiento y

puesta en marcha del sistema [6].

### 1.6.2 CONTROL CONTINUO

Los componentes asociados a este tipo de control continuo básicamente son: Instrumentos de medición de peso dinámico (317-WQIT-10050), flujo (317-FIT-10050 y 317-FIT-10051), válvulas de control (317-FV-10050 y 317-FV-10051) y las compuertas tipo cuchillas para el Tripper estacionario, que tiene por finalidad principal según las condiciones de carga del material (Tn/h) que está ingresando al sistema Bypass, regular el ingreso del material según la campaña presente y maniobrar el flujo del suministro de agua de proceso ( $m^3/h$ ) requerido hacia la zaranda vibratoria húmeda y el chute de descarga de finos posterior.

Como estrategia de control referente a la regulación del flujo para el suministro de agua de proceso, se considera emplear dos lazos realimentados basados en un tipo de control de relación complementado con un control PID. El lazo de control PID deberá tener un método de control en cascada y un retardo o delay de acuerdo al tiempo que demore en llegar el material sensado en la balanza dinámica hasta el punto en el que se aplique el flujo del agua sobre la pulpa.

Para el primer lazo realimentado, el peso dinámico de ingreso de material por la faja transportadora 317-CVB-031 será la variable predominante (primaria o set point), y el flujo del suministro de agua de proceso principal hacia la zaranda vibratoria y chutes de descarga será la variable secundaria (variable de proceso PV). En este lazo se debe considerar una banda diferencial, en donde los valores máximo y mínimo serán obtenidos considerando un porcentaje de  $\pm 5\%$  del valor de la referencia de peso dinámico. Esta banda diferencial tiene por finalidad mantener constante por periodos más largos de tiempo el valor de la referencia de peso dinámico que se debe ingresar a la relación ante las variaciones constantes que se tenga en la lectura del peso dinámico a través del sistema de pesaje. Con esto se tendría menos movimientos verticales del actuador por acción de los pilotos neumáticos, roces o fricciones sobre el actuador de la válvula de control prolongando su tiempo de vida útil y mantenimiento.

La relación para el primer lazo debe considerar un valor de 0.558 en unidades de  $m^3/h$  o Tn/h para obtener el valor de referencia de flujo del suministro de agua de proceso principal; este valor es de acuerdo a los siguientes parámetros de diseño: Flujo de agua de proceso principal de  $2,108m^3/h$  para un peso dinámico 3,774 Tn/h. Así mismo se debe considerar para este primer lazo un retardo de tiempo (específicamente para la primera

secuencia de arranque) en el ingreso del valor de referencia del peso dinámico a la relación, a partir de que el sistema de pesaje en la faja 317-CVB-031 comienza a generar las lecturas respectivas como detección de carga. Este retardo es colocado con el fin de esperar que la carga transportada se encuentre cercana al punto de alimentación de la zaranda vibratoria 317-SCR-013. Este lapso de tiempo sería en principio de aproximadamente 80 segundos.

Para el segundo lazo realimentado, la referencia del flujo del suministro de agua de proceso principal obtenido a la salida de la relación del primer lazo será la variable predominante (Primaria), y el flujo del suministro de agua de proceso al chute de descarga de finos 317-STP-054 será la variable secundaria (sin embargo se puede realizar un ajustes en las llaves o válvulas manuales para tener un comportamiento de flujo independiente en cada válvula automática), por lo que este segundo lazo tendría una dependencia directa del primer lazo. El relé de relación para el segundo lazo debe considerar un valor de 0.493 para obtener el valor de referencia de flujo del suministro de agua de proceso al chute de descarga 317-STP-054. Este valor es de acuerdo a los siguientes parámetros de diseño: Flujo de agua de proceso para el chute de descarga 317-STP-054 de  $1,040\text{m}^3/\text{h}$  para un flujo de agua de proceso principal de  $2,108\text{m}^3/\text{h}$ .

Los valores de parámetros indicados anteriormente han sido deducidos de acuerdo a la experiencia en el desarrollo de ingeniería para fajas y son referenciales, se debe resaltar que dicha ingeniería la realizó el personal de Graña y Montero Ingeniería. Durante la etapa de implementación esta ingeniería de detalle fue muy importante para el despliegue de los distintos equipos y las labores que realizaban; conforme se ejecutaba el proyecto se encontró ciertos vacíos e incongruencias que poco a poco se fueron resolviendo sin embargo a modo personal y como opinión profesional destaco el gran nivel de la ingeniería elaborada por Graña y Montero Ingeniería.

Estos valores deberán ser ajustados durante la etapa de pruebas iniciales y puesta en marcha del sistema [7]. Finalmente será los operadores de la planta o los especialistas en medición de la calidad de la pulpa de mineral los que determinen las razones o relaciones y nivel de agua en el mineral concentrado a fin de contar con una masa adecuada similar a la masa de salida proveniente del Molino SAG.

Un modelo gráfico en diagrama de bloques para estos lazos de control continuo que nos permita tener un mejor panorama del control de las dos válvulas de agua y como influye el tiempo de retraso debido a la ubicación de la balanza de peso dinámico, es el siguiente:

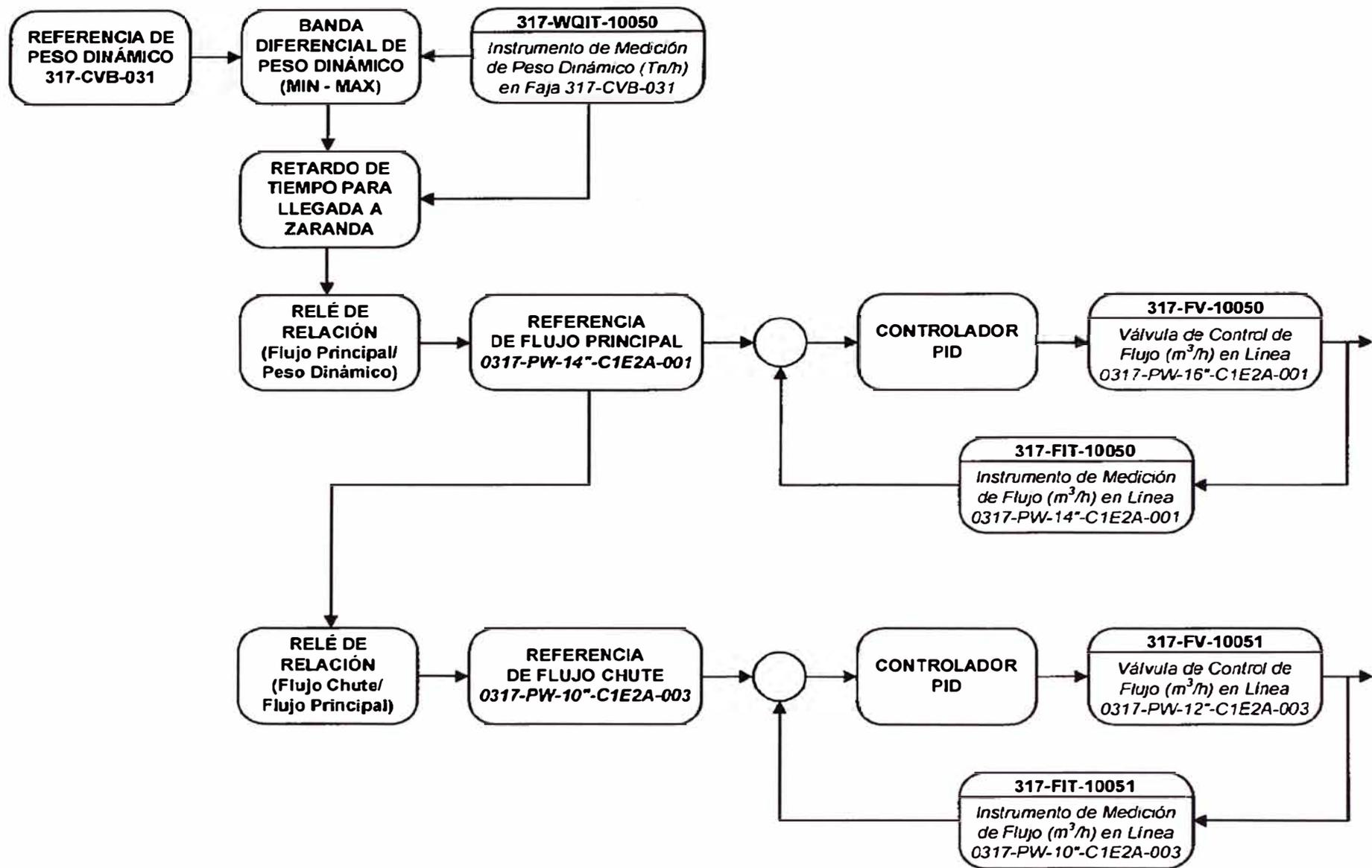


Figura 1.16 Diagrama de flujo esquemático del proceso de Bypass del molino SAG (fuente: Personal)

## 1.7 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL

Las señales nombradas a continuación para cada área son señales cableadas desde los distintos sensores, botoneras, actuadores involucrados en cada área hasta el controlador o I/O remoto más cercano (con el objetivo de ahorrar cableado). El resumen de hacia dónde van y de donde vienen estas señales se aprecia en la Figura 1.14. Estas señales cableadas luego de ingresar al controlador tienen nombres más simplificados y ordenados de acuerdo a lo recomendado en la norma ISA 5.1-1984 (R1992). Para verificar los nombres imágenes de estos tags en el controlador podemos ingresar al detalle del programa .CAD ó .L5K (que se abre con el programa NotePad) ubicado en la carpeta adjunta al proyecto o al archivo editable del SCADA elaborado.

### **Faja Transportadora 317-CVB-031:**

- 317HISCVB031STR: Arranque por operador de campo.
- 317HISCVB031STP: Parada por operador de campo.
- 317HISCVB031AM: Selección de Automático/Manual por operador.
- 317HISCVB031J: Indicación al operador de prueba de campo en faja 317-CVB-031.
- 317HISCVB031RM: Indicación al operador de remoto/local en faja 317-CVB-031.
- 317HISCVB031S: Indicación al operador de parada de campo en faja 317-CVB-031.
- 317HISCVB031RU: Indicación al operador de contactor cerrado en faja 317-CVB-031.
- 317HISCVB031CT: Indicación al operador de tensión de control en faja 317-CVB-031.
- 317HISCVB031OL: Indicación al operador de falla en faja 317-CVB-031.
- 317HISCVB031RC: Indicación al operador de comando arranque/parada 317-CVB-031.
- 317HA10050B: Indicación al operador de parada de emergencia en faja 317-CVB-031.
- 317HA10050A: Indicación al operador de parada de emergencia en faja 317-CVB-031.
- 317HA10050B: Indicación al operador de parada de emergencia en faja 317-CVB-031.
- 317HA10050C: Indicación al operador de parada de emergencia en faja 317-CVB-031.
- 317HA10051A: Indicación al operador de parada de emergencia en faja 317-CVB-031.
- 317HA10051B: Indicación al operador de parada de emergencia en faja 317-CVB-031.
- 317HA10051C: Indicación al operador de parada de emergencia en faja 317-CVB-031.
- 317ZAH10050: Indicación al operador de des alineamiento en faja 317-CVB-031.
- 317ZAHH10050: Indicación al operador de sobre des alineamiento en faja 317-CVB-031.
- 317ZAH10051: Indicación al operador de des alineamiento en faja 317-CVB-031.
- 317ZAHH10051: Indicación al operador de sobre des alineamiento en faja 317-CVB-031.
- 317ZAH10052: Indicación al operador de des alineamiento en faja 317-CVB-031.

317ZAHH10052: Indicación al operador de sobre des alineamiento en faja 317-CVB-031.  
317ZAH10053: Indicación al operador de des alineamiento en faja 317-CVB-031.  
317ZAHH10053: Indicación al operador de sobre des alineamiento en faja 317-CVB-031.  
317ZAH10054: Indicación al operador de desalmamiento en faja 317-CVB-031.  
317ZAHH10054: Indicación al operador de sobre des alineamiento en faja 317-CVB-031.  
317ZAH10055: Indicación al operador de des alineamiento en faja 317-CVB-031.  
317ZAHH10055: Indicación al operador de sobre des alineamiento en faja 317-CVB-031  
317XA10050: Indicación al operador de ruptura en cabeza de faja 317-CVB-031.  
317XA10051: Indicación al operador de ruptura en cola de faja 317-CVB-031.  
317SAL10050: Indicación al operador de velocidad cero en faja 317-CVB-031.  
317TI10050A: Indicación al operador de temperatura de polea en faja 317-CVB-031.  
317TI10050B: Indicación al operador de temperatura de polea en faja 317-CVB-031.  
317TI10051A: Indicación al operador de temperatura de reductor en faja 317-CVB-031.  
317TI10051B: Indicación al operador de temperatura de reductor en faja 317-CVB-031.  
317TI10051C: Indicación al operador de temperatura de reductor en faja 317-CVB-031.  
317TI10051D: Indicación al operador de temperatura de reductor en faja 317-CVB-031.  
317TI10051E: Indicación al operador de temperatura de reductor en faja 317-CVB-031.  
317X110050: Indicación al operador de vibración de motor en faja 317-CVB-031.  
317X110051: Indicación al operador de vibración de motor en faja 317-CVB-031.  
317X110052: Indicación al operador de vibración de reductor en faja 317-CVB-031.  
317X110053: Indicación al operador de vibración de reductor en faja 317-CVB-031.  
317TAH10050A: Indicación al operador de temperatura alta en polea faja 317-CVB-031.  
317TAH10050B: Indicación al operador de temperatura alta en polea faja 317-CVB-031.  
317TAH10051A: Indicación al operador de temperatura alta en reductor faja 317-CVB-031  
(Tags 51A al 51E por software).  
317TAH10051B: Indicación al operador temperatura alta en reductor faja 317-CVB-031.  
317TAH10051C: Indicación al operador temperatura alta en reductor faja 317-CVB-031.  
317TAH10051D: Indicación al operador temperatura alta en reductor faja 317-CVB-031.  
317TAH10051E: Indicación al operador de temperatura alta en reductor faja 317-CVB-031  
317XAH10050: Indicación al operador de vibración alta en motor faja 317-CVB-031.  
317XAH10051: Indicación al operador de vibración alta en motor faja 317-CVB-031.  
317XAH10052: Indicación al operador de vibración alta en reductor faja 317-CVB-031.  
317XAH10053: Indicación al operador de vibración alta en reductor faja 317-CVB-031.

317YA10050: Indicación al operador de alarma sonora en faja 317-CVB-031.

317YA10051: Indicación al operador de alarma sonora en faja 317-CVB-031.

317YL10050: Indicación al operador de alarma luminosa en faja 317-CVB-031.

317YL10051: Indicación al operador de alarma luminosa en faja 317-CVB-031.

317WQIT10050: Indicación al operador de peso dinámico en faja 317-CVB-031.

Enclavamientos:

Permiso para inicio:

317HISCVB031RM motor en remoto.

NOT 317HISCVB031OL motor en falla.

Permiso para marcha:

317HA10050A no se tiene parada de emergencia de faja.

317HA10050B no se tiene parada de emergencia de faja.

317HA10050C no se tiene parada de emergencia de faja.

317HA10051A no se tiene parada de emergencia de faja.

317HA10051B no se tiene parada de emergencia de faja.

317HA10051C no se tiene parada de emergencia de faja.

NOT 317ZAH10050 no se presenta des alineamiento en faja.

NOT 317ZAHH10050 no se presenta sobre des alineamiento en faja.

NOT 317ZAH10051 no se presenta des alineamiento en faja.

NOT 317ZAHH10051 no se presenta sobre des alineamiento en faja.

NOT 317ZAH10052 no se presenta des alineamiento en faja.

NOT 317ZAHH10052 no se presenta sobre des alineamiento en faja.

NOT 317ZAH10053 no se presenta des alineamiento en faja.

NOT 317ZAHH10053 no se presenta sobre des alineamiento en faja.

NOT 317ZAH10054 no se presenta des alineamiento en faja.

NOT 317ZAHH10054 no se presenta sobre des alineamiento en faja.

NOT 317ZAH10055 no se presenta des alineamiento en faja.

NOT 317ZAHH10055 no se presenta sobre des alineamiento en faja.

NOT 317XA10050 no se presenta ruptura en faja.

NOT 317XA10051 no se presenta ruptura en faja.

NOT 317SAL10050 no se presenta velocidad cero en faja.

NOT317LAH10051 no se presenta nivel alto en chute 317-STP-042.

Permiso para paro:

NOT 317HA10050A se tiene parada de emergencia de faja.

NOT 317HA10050B se tiene parada de emergencia de faja.

NOT 317HA10050C se tiene parada de emergencia de faja.

NOT 317HA10051A se tiene parada de emergencia de faja.

NOT 317HA10051B se tiene parada de emergencia de faja.

NOT 317HA10051C se tiene parada de emergencia de faja.

317ZAHH10050 se presenta sobre des alineamiento en faja.

317ZAHH10051 se presenta sobre des alineamiento en faja.

317ZAHH10052 se presenta sobre des alineamiento en faja.

317ZAHH10053 se presenta sobre des alineamiento en faja.

317ZAHH10054 se presenta sobre des alineamiento en faja.

317ZAHH10055 se presenta sobre des alineamiento en faja.

317XA10050 se presenta ruptura en faja.

317XA10051 se presenta ruptura en faja.

317SAL10050 se presenta velocidad cero en faja.

317LAH10051 se presenta nivel alto en chute 317-STP-042.

317TAH10050A se presenta temperatura alta en polea de faja.

317TAH10050B se presenta temperatura alta en polea de faja.

317TAH10051A se presenta temperatura alta en reductor de faja.

317TAH10051B se presenta temperatura alta en reductor de faja.

317TAH10051C se presenta temperatura alta en reductor de faja.

317TAH10051D se presenta temperatura alta en reductor de faja.

317TAH10051E se presenta temperatura alta en reductor de faja.

317XAH10050 se presenta vibración alta en motor de faja.

317XAH10051 se presenta vibración alta en motor de faja.

317XAH10052 se presenta vibración alta en reductor de faja.

317XAH10053 se presenta vibración alta en reductor de faja.

#### Selector del Operador: Modo Automático / Manual

Modo Automático: Este modo de operación será comandada principalmente por las secuencias de arranque y parada descritas anteriormente (Control Discreto). El operador habilitará el modo automático en coordinación y conjuntamente con Control de Procesos.

Modo Manual: El operador selecciona el arranque y parada según las condiciones y requerimientos necesarios

**Faja de Separador Magnético 317-M AS-031:**

317HISMAS031STR: Arranque por operador de campo.

317HISMAS031STP: Parada por operador de campo.

317HISMAS031AM: Selección de Automático/Manual por operador.

317HISMAS031J: Indicación al operador de prueba de campo en faja de 317-MAS-031.

317HISMAS031RM: Indicación al operador de remoto/local en faja de 317-MAS-031.

317HISMAS031S: Indicación al operador de parada de campo en faja de 317-MAS-031.

317HISMAS031RU: Indicación al operador de funcionando faja de 317-MAS-031.

317HISMAS031OL: Indicación al operador de falla a tierra en faja de 317-MAS-031.

317HISMAS031RC: Indicación al operador de comando arranque/parada 317-MAS-031.

317SAL10051: Indicación al operador de velocidad cero en faja de 317-MAS-031.

317YA10055: Indicación al operador de alarma sonora en faja de 317-MAS-031.

317YL10055: Indicación al operador de alarma luminosa en faja de 317-MAS-031.

**Enclavamientos:**

Permiso para inicio:

317HISMAS031 RM motor en remoto.

NOT 317HISMAS031OL motor en falla a tierra.

Permiso para marcha:

NOT 317SAL10050 no se presenta velocidad cero en faja.

Permiso para marcha:

317SAL10050 se presenta velocidad cero en faja.

**Selector del Operador: Modo Automático / Manual**

Modo Automático: Este modo de operación será comandado principalmente por las secuencias de arranque y parada descritas anteriormente (Control Discreto). El operador habilitará el modo automático en coordinación y conjuntamente con Control de Procesos.

Modo Manual: El operador seleccionará el arranque o parada según las condiciones y requerimientos en coordinación con personal de campo.

**Zaranda Vibratoria 317-SCR-011:**

317HISSCR011STR: Arranque por operador de campo.

317HISSCR011STP: Parada por operador de campo.

317HISSCR011AM: Selección de Automático/Manual por operador.

317HISSCR011J: Indicación al operador de prueba de campo en zaranda 317-SCR-011.

317HISSCR011 RM: Indicación al operador de remoto/local en zaranda 317-SCR-011.

317HISSCR011S: Indicación al operador de parada de campo en zaranda 317-SCR-011.  
 317HISSCR011RU: Indicación al operador de funcionando zaranda 317-SCR-011.  
 317HISSCR0110L: Indicación al operador de falla a tierra en zaranda 317-SCR-011.  
 317HISSCR011RC: Indicación al operador de comando arranque/parada 317-SCR-011.  
 317X110054: Indicación al operador de vibración en zaranda 317-SCR-011.  
 317X110055: Indicación al operador de vibración en zaranda 317-SCR-011.  
 317X110056: Indicación al operador de vibración en zaranda 317-SCR-011.  
 317X110057: Indicación al operador de vibración en zaranda 317-SCR-011.  
 317XAH10054: Indicación al operador de vibración alta en zaranda 317-SCR-011.  
 317XAH10055: Indicación al operador de vibración alta en zaranda 317-SCR-011.  
 317XAH10057: Indicación al operador de vibración alta en zaranda 317-SCR-011.

#### Enclavamientos:

Permiso para inicio:

317HISSCR011 RM motor en remoto.

NOT 317HISSCR0110L motor en falla.

Permiso para marcha:

NOT 317LAH10055 no se presenta nivel alto en chute 317-STP-046.

Permiso para paro:

317LAH10055 se presenta nivel alto en chute 317-STP-046.

317XAH10054 se presenta alta vibración en zaranda.

317XAH10055 se presenta alta vibración en zaranda.

317XAH10056 se presenta alta vibración en zaranda.

317XAH10057 se presenta alta vibración en zaranda.

#### Selector del Operador: Modo Automático / Manual

Modo Automático: Este modo de operación será comandado principalmente por las secuencias de arranque y parada descritas anteriormente (Control Discreto). El operador habilitará el modo automático en coordinación y conjuntamente con Control de Procesos.

Modo Manual: El operador seleccionará el arranque o parada según las condiciones y requerimientos en coordinación con personal de campo.

#### **Zaranda Vibratoria 317-SCR-012:**

El funcionamiento es idéntico al funcionamiento de la zaranda vibratoria 317-SCR-012, solo cambia el nombre de la instrumentación asociada a dicho equipo.

#### **Motor de Chancadora Hidro-cono 317-CRC-011:**

317HISCRC011STR: Arranque por operador de campo.  
 317HISCRC011STP: Parada por operador de campo.  
 317HISCRC011AM: Selección de Automático/Manual por operador.  
 317HISCRC011J: Indicación al operador de prueba de campo en motor de 317-CRC-011.  
 317HISCRC011RM: Indicación al operador de remoto/local en motor de 317-CRC-011.  
 317HISCRC011S: Indicación al operador de parada de campo en motor de 317-CRC-011.  
 317HISCRC011RD: Indicación al operador de listo motor de 317-CRC-011.  
 317HISCRC011RU: Indicación al operador de funcionando motor de 317-CRC-011.  
 317HISCRC011CT: Indicación al operador de tensión de control motor de 317-CRC-011.  
 317HISCRC0110L: Indicación al operador de falla en motor de 317-CRC-011.  
 317HISCRC011RC: Indicación al operador de comando arranque/parada 317-CRC-011.  
 317SI10050: Indicación al operador de velocidad en motor de 317-CRC-011.  
 317L110050: Indicación al operador de nivel en 317-CRC-011.  
 317SAL10050: Indicación al operador de velocidad baja en motor de 317-CRC-011.  
 317LAH10050: Indicación al operador de nivel alto en 317-CRC-011. (Por software)

#### Enclavamientos:

Permiso para inicio:

317HISCRC0112RM motor en remoto.

317HISCRC011RD motor listo.

NOT 317HISCRC0110L motor en falla.

Permiso para marcha:

NOT 317LAH10050 no se presenta nivel alto en chancadora.

NOT 317SAL10050C no se presenta velocidad baja en chancadora.

#### Selector del Operador: Modo Automático / Manual

Modo Automático: Este modo de operación será comandado principalmente por las secuencias de arranque y parada descritas anteriormente (Control Discreto). El operador habilitará el modo automático en coordinación y conjuntamente con Control de Procesos.

Modo Manual: El operador seleccionará el arranque o parada según las condiciones y requerimientos en coordinación con personal de campo.

#### **Faja Transportadora 317-CVB-032:**

El funcionamiento es idéntico al funcionamiento de la faja 317-CVB-031, solo cambia el nombre de la instrumentación asociada a dicha faja.

#### **Faja Transportadora 317-CVB-033:**

El funcionamiento es idéntico al funcionamiento de la faja 317-CVB-032, solo cambia el nombre de la instrumentación asociada a dicha faja.

**Zaranda Vibratoria Húmeda 317-SCR-013:**

317HISSCR013STR: Arranque por operador de campo.

317HISSCR013STP: Parada por operador de campo.

317HISSCR013AM: Selección de Automático/Manual por operador.

317HISSCR013J: Indicación al operador de prueba de campo en zaranda 317-SCR-013.

317HISSCR013RM: Indicación al operador de remoto/local en zaranda 317-SCR-013.

317HISSCR013S: Indicación al operador de parada de campo en zaranda 317-SCR-013.

317HISSCR013RU: Indicación al operador de funcionando zaranda 317-SCR-013.

317HISSCR013OL: Indicación al operador de falla a tierra en zaranda 317-SCR-013.

317HISSCR013RC: Indicación al operador de comando arranque/parada 317-SCR-013.

317X110068: Indicación al operador de vibración en zaranda 317-SCR-013.

317X110069: Indicación al operador de vibración en zaranda 317-SCR-013.

317X110070: Indicación al operador de vibración en zaranda 317-SCR-013.

317X110071: Indicación al operador de vibración en zaranda 317-SCR-013.

317XAH10068: Indicación al operador de vibración alta en zaranda 317-SCR-013 (Tags 68 al 71 por software).

**Enclavamientos:**

Permiso para inicio:

317HISSCR013RM motor en remoto.

NOT 317HISSCR013OL motor en falla.

Permiso para marcha:

NOT 317LAH10060 no se presenta nivel alto en chute 317-STP-053.

NOT 317LAH10061 no se presenta nivel alto en chute 317-STP-054.

Permiso para paro:

317LAH10060 se presenta nivel alto en chute 317-STP-053.

317LAH10061 se presenta nivel alto en chute 317-STP-054.

317XAH10068 se presenta alta vibración en zaranda.

317XAH10069 se presenta alta vibración en zaranda.

317XAH10070 se presenta alta vibración en zaranda.

317XAH10071 se presenta alta vibración en zaranda.

**Selector del Operador: Modo Automático / Manual**

Modo Automático: Este modo de operación será comandado principalmente por las secuencias de arranque y parada descritas anteriormente (Control Discreto). El operador habilitará el modo automático en coordinación y conjuntamente con Control de Procesos.

Modo Manual: El operador seleccionará el arranque o parada según las condiciones y requerimientos en coordinación con personal de campo.

#### **Líneas de Suministro de Agua de Proceso:**

317FI10050: Indicación al operador de flujo en línea de suministro de agua principal a chutes y zaranda vibratoria 317-SCR-013.

317FI10051: Indicación al operador de flujo en línea de suministro de agua a chute de descarga de finos de 317-SCR-013.

317FV10050: Indicación al operador de % apertura de válvula de control en línea de suministro de agua principal a chutes y zaranda vibratoria 317-SCR-013.

317FV10051: Indicación al operador de % apertura de válvula de control en línea de suministro de agua a chute de descarga de finos de 317-SCR-013.

#### **Chutes de descarga y Alimentación:**

317LAH10050: Indicación al operador de nivel alto en chute 317-STP-041.

317LAH10051: Indicación al operador de nivel alto en chute 317-STP-042.

317LAH10052: Indicación al operador de nivel alto en chute 317-STP-044.

317LAH10053: Indicación al operador de nivel alto en chute 317-STP-045.

317LAH10054: Indicación al operador de nivel alto en chute 317-STP-045.

317LAH10055: Indicación al operador de nivel alto en chute 317-STP-046.

317LAH10056: Indicación al operador de nivel alto en chute 317-STP-047.

317LAH10057: Indicación al operador de nivel alto en chute 317-STP-048.

317LAH10058: Indicación al operador de nivel alto en chute 317-STP-049.

317LAH10059: Indicación al operador de nivel alto en chute 317-STP-050.

317LAH10060: Indicación al operador de nivel alto en chute 317-STP-053.

317LAH10061: Indicación al operador de nivel alto en chute 317-STP-054.

Nota: Las alarmas indicadas anteriormente que deberán ser generadas por software para zarandas vibratorias, chancadora Hidro-cono, poleas motrices, motores y reductores de fajas, deberán estar sujetas en función a valores críticos (niveles alto-bajo, según el caso) definidos y de responsabilidad del proveedor del equipamiento asociado. Los valores de las alarmas podrán ser cambiados de acuerdo a las pruebas de comisionamiento [22].

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO, CONOCIMIENTOS PREVIOS Y CONCEPTOS

Desde el comienzo de la era industrial el control de procesos se llevo a cabo mediante diversas técnicas intuitivas y sobre todo manuales; tareas rudimentarias y simples realizadas por diversas personas u operarios. El caso más común fue el control de funcionamiento de un horno. Realmente el operador era usado como un elemento de control a fin de poder detener el funcionamiento del horno una vez que se tenga un tiempo de cocción predeterminado por experiencia en la elaboración de un producto específico. La maniobra del horno dependía de variables visibles para el operador como son el color de la llamarada, el tipo de humo emanado, el tiempo de funcionamiento y el aspecto físico del producto; bajo estas condiciones el operador decidía mantenerlo encendido o en su defecto apagarlo. Con el pasar de los años el mercado exigía productos con mejor calidad en las piezas fabricadas; luego se exigió una uniformidad y una alta confiabilidad en su funcionamiento para ello era necesario tener un pleno conocimiento del funcionamiento del proceso con esto podríamos realizar un profundo análisis de las diversas variables que requieren ser manipuladas de modo tal que la mayor parte de estas puedan ser controladas y monitoreadas a fin de tener un producto acorde a las exigencias del mercado.

Bajo este marco nace la revolución industrial, durante los años 1750 y 1850. La economía basada en el trabajo manual sufre un tremendo impacto y pasa a ser dominada por la industria y la manufactura en todos los sectores como agricultura, minería, tecnología, etc.<sup>[1]</sup>

#### **2.1 PIRÁMIDE DE LA AUTOMATIZACIÓN, MODELO “CIM”**

[2] [3] Los sistema de automatización y control moderno toman data de los diversos sensores de campo para luego procesar dichas señales en un controlador lógico programable y realizar una acción determinada en una serie de actuadores, centro de control de motores, etc. Esta información es enviada a una serie de computadoras por medio de la red LAN. El uso de este tipo de redes hoy en día permite reducir costos y mejorar la eficiencia del

sistema de control. Un sistema de control debe ser capaz de:

- \*) Controlar el proceso integro de una planta (usualmente se usan DCS)
- \*) Controlar secuencias y alarmas (usualmente se usan PLC)
- \*) Desarrollar interfaces hombre máquina distribuidas (HMI) que permitan un monitoreo, diagnóstico y control de diversas áreas afines a la planta
- \*) Gestionar la información, permitir identificar las áreas críticas e identificar las zonas que requieren mayor atención y mantenimiento preventivo, correctivo.

La pirámide de la automatización nos permite organizar las diversas funciones que se tiene en una empresa de producción masiva. Contiene diversos niveles o capas definidas con diversas funciones y dependencias. Dependiendo de la organización bajo la se esté rigiendo los estándares de una compañía este modelo puede variar ligeramente. Para el cual caso del modelo CIM existen diversas variantes basadas en la ISA95 y en la IEC62264-12,3, para nuestro fin analizaremos el propuesto por la agencia Norte Americana no regulatoria NIST que presenta el siguiente modelo:



### Nivel 5 ERP - Planificación de recursos empresariales

[2] [3] [19] Nos permite gestionar la información en toda la planta. Debido a que automatiza e integra las tareas de negocio, operación y producción de una empresa en tiempo real o cercano a él sin necesidad de esperar por actualizaciones.

Nos permite mantener un manejo eficiente de toda la información y ayuda al intercambio de datos entre las diversas áreas que conforman toda la planta desde el nivel gerencia hasta los niveles inferiores por que permite tener una única base de datos compatible con todas las aplicaciones.

Permite tener nociones y criterio de la tendencia del mercado ya que ayuda a pronosticar la oferta y demanda de los productos y servicios.

Busca obtener soluciones rápidas y prácticas a los usuarios permitiendo reducción de costos en logística, reducción de tiempos de entrega para despacho y recepción de materiales.

Hoy en día en el mercado mundial existen diversos proveedores de sistemas ERP como por ejemplo Oracle PeopleSoft JDEwards (absorbidas una tras otra), SAP (actualmente SAP posee el 31% del mercado global), SSA, IBM, QAD, FouthShift. Los programas mencionados suelen usar redes LAN y WAN bajo el estándar Ethernet para el manejo de la información entre todas las áreas.



**Figura 2.2** Áreas ligadas al ERP (fuente RedesIndustriales\_CIM.pdf)

### Nivel 4 MES - Planificación y control de gestión

[2] [3] [19] Cerca de los años 80 el concepto de MES fue originado como sistemas de colección de datos. Una amplia variedad de sistemas fueron apareciendo para propósitos dedicados. Desarrollos mas avanzados durante los años 90 introdujeron mejoras funcionales. Luego la asociación MESA introdujo algunas estructuras definidas en funciones las cuales son las bases del MES. Alrededor del año 2000 la ANSI/ISA-95 estandarizó la definición de arquitectura de un MES; la cual se encuentra situada en el nivel 4. El MES abarca 4 operaciones principales que son producción, calidad, logística y mantenimiento. El

estándar ANSI/ISA-95 adicionalmente define a detalle la arquitectura del MES cubriendo el como distribuir interna y externamente las funciones para unir el nivel ERP con el SCADA.

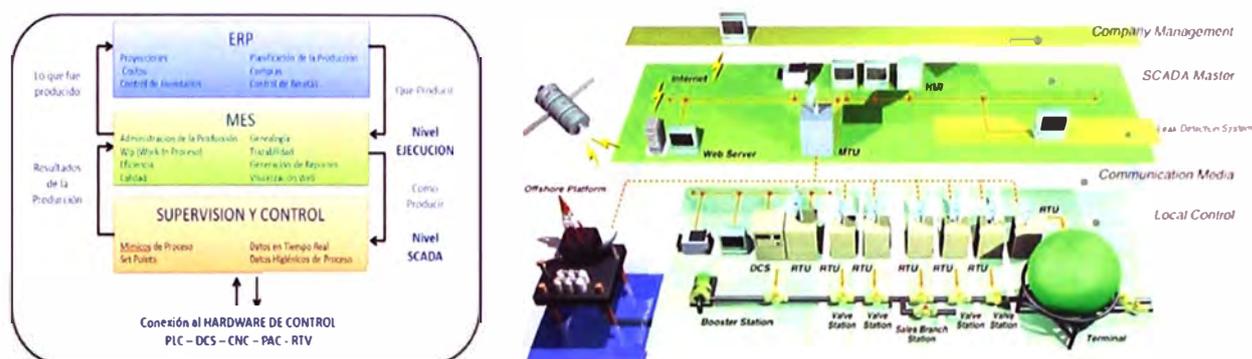
El MES nos permite conectar el nivel ERP con los sistemas de monitoreo, diagnóstico y control a través de sistemas informáticos. Su principal objetivo es el planeamiento y el control de la producción en tiempo real a través de la optimización del uso de los recursos de tecnología e informática en la organización. Programas como bases de datos Oracle, SQL Server entre otras permiten desarrollar estas aplicaciones. El motor de desarrollo de la base de datos que se seleccione debe soportar los sistemas, interfaces, cálculos, reportes y transparencias para las comunicaciones con otros sistemas, códigos o comandos para programación y filtrado en base de datos y mucho más. Este software normalmente usa lenguajes de programación de nivel bajo estándar como por ejemplo Visual Basic, Delphi, Java. Similar al caso del nivel ERP utilizan la red LAN Ethernet para el intercambio de datos.



**Figura 2.3** Software para sistemas MES (fuente RedesIndustriales\_CIM.pdf)

### Nivel 3 SCADA - Supervisión de control y adquisición de datos

[2] [3] Actualmente los sistemas SCADA son ampliamente usados en las diversas empresas de producción masiva, extracción de minerales, centrales térmicas – hidroeléctricas y demás. Estos software de interface hombre máquina (HMI) permiten a los usuarios comunicar a los dispositivos de campo a distancia para la supervisión y control de las diversas variables del proceso de forma remota, local, automática y manual. Recibe los programas de producción, calidad, mantenimiento, etc. de la capa 4 y retroalimenta dicho nivel con las incidencias como por ejemplo estado de los motores, transmisores, situación de máquinas, situación del proceso en curso, daño en algún trasmisor o sensor ligado al proceso. Bajo el modelo CIM propuesto por la NIST los sistemas SCADA relacionan el nivel MES con el de Control. A través de estos sistemas se emite órdenes de ejecución al nivel “sistema de control local” y recibe situaciones de estado de dicho nivel.



**Figura 2.4** Relación de las capas 4 y 2 por medio del SCADA

(fuente RedesIndustriales\_CIM.pdf)

Un sistema SCADA usualmente se compone de los siguientes subsistemas:

*Interface Hombre Máquina (HMI).*- comúnmente llamado panel de operador, es la pantalla gráfica dedicada normalmente a un solo proceso o a una parte del mismo, la cual informa al operador de turno sobre diversos estatus de equipos, alarmas con la meta de que dicho operador pueda ejercer un control manual o automático según el diagnóstico realizado.

*Sistema supervisor.*- recibe y transmite datos de un proceso.

*Unidad Terminal Remota (RTU).*- permite la conexión de sensores del proceso, convierte señales enviadas por sensores a señales digitales para luego reenviar la data a un sistema supervisor.

*Controlador Lógico Programable (PLC).*- líneas debajo se detalla más información.

*Sensores e instrumentación analítica.*

En muchas industrias existe una gran confusión a la hora de determinar las diferencias entre SCADA y los Sistemas de Control Distribuido (DCS). Se dice que los sistemas SCADA hacen referencia a sistemas que se encargan de coordinar pero que no hacen el control de procesos en tiempo real. La discusión sobre tiempo real ha sido generada a partir de conceptos nuevos surgidos en el mundo de las telecomunicaciones. Tener un sistema en tiempo real implica tener una alta confiabilidad, baja latencia y excelente velocidad de comunicación sobre una amplia área. Por último resaltamos que existen comunidades de ingenieros electrónicos que mencionan que la mayoría de las diferencias entre SCADA y DCS son determinadas culturalmente y en muchas ocasiones pueden ser ignoradas.

### Nivel 2 Sistemas de control, control de procesos

[2] [3] En esta capa se ubican los controladores; estos se encargan de adquirir la información de los estados de las variables del proceso por medio de sensores, realizan los cálculos de actuaciones y tratamientos de las señales adquiridas para finalmente llevar a cabo una

acción de control por medio de actuadores que suelen ser motores, válvulas, compuertas, entre otros elementos de salida.

Para ejecutar el control de un proceso existen diversas herramientas y dispositivos electrónicos como por ejemplo:

- \* Controladores lógicos programables (Programmable Logic Controller, PLC)
- \* Unidades terminales remotas (Remote Terminal Unit RTU)
- \* Control numérico por computadora (Computer Numerical Control CNC)
- \* Controladores industriales para lazos simples y compuestos.
- \* Sistemas de control distribuido (Distributed Control System DCS)



**Figura 2.5** Controladores distribuidos (ver también Figura 1.14)

(fuente RedesIndustriales\_CIM.pdf)

Al unir estos sistemas se puede formar grandes redes de control de una planta en donde existirán una serie de maestro y esclavos. Este tipo de equipos utilizan protocolos de comunicación de campo llamados buses de campo o Field Bus.

#### Nivel I Dispositivos de campo

[21] [3] Es la base de la pirámide del modelo CIM. En el nivel de instrumentación se encuentra toda la sensorica, actuadores y la maquinaria que hace posible el proceso de producción. En este nivel se ejecutan las acciones básicas en tiempo real que los sensores y actuadores ejercen para el control sobre la producción.

Es muy importante tener en cuenta la adecuación de las señales para que estas sean compatibles en la integración del sistema de control. Dicha compatibilidad se logra a través del uso de diversas redes industriales. Los distintos patrones y usos de estas redes se cumplen igualmente en las redes de oficina. Las redes industriales nos permiten:

- \* Transportan gran cantidad de datos que pueden ser varias mediciones de un solo sensor o de múltiples tipos de sensores, órdenes de control hacia un actuador o información

adicional para la gestión de una red.

\* A diferencia de las redes de oficina, estas redes deben estar diseñadas para trabajar en ambientes industriales agresivos e incluso bajo condiciones severas.

\* A nivel mundial las redes para datos de dispositivos de campo más usadas son HART, Profibus PA/DP, Foundation Fieldbus y Modbus RTU.



**Figura 2.6** Sensores y actuadores (fuente RedesIndustriales\_CIM.pdf)

## 2.2 DEFINICIÓN DE AUTOMATIZACIÓN

Es el uso de los sistemas de control y diversas técnicas informática que nos permiten reducir el esfuerzo y la necesidad de trabajo del ser humano para los procesos de producción industrial. En el esquema de la industrialización de los bienes, la automatización se encuentra un paso más adelante que la mecanización. La mecanización consiste en colocar diversas máquinas a fin de reducir el esfuerzo físico de las personas involucradas con una tarea mientras que la automatización estaría a cargo de colocar los sensores y actuadores requeridos con la finalidad de reducir la necesidad del esfuerzo físico mental del ser humano. Hoy en día las grandes corporaciones y empresas dedicadas al rubro de bienes y servicios de distribución masiva poseen un alto grado de automatización en sus industrias por lo que podemos afirmar que la automatización juega un papel muy importante en la economía mundial.

La automatización ha tenido un gran impacto a nivel de toda clase de industrias a pesar de que en su inicio apareció como necesidad a resolver problemas en la industria de la manufacturación. Por ejemplo hoy en día los operadores telefónicos han sido totalmente reemplazados por switches y máquinas contestadoras. Otro ejemplo notorio son los cajeros automáticos, los cuales han reducido la necesidad de asistir a los bancos para realizar transacciones financieras simples. En líneas generales la automatización es responsable de un gran cambio en la economía mundial

### Ventajas y Desventajas

[16] Las principales ventajas son las siguientes:

Reemplazo de operadores humanos para tareas que envuelven trabajo físico constante y trabajos monótonos.

Reemplazo de personal en áreas donde existe un alto potencial de daños y peligros.

Desarrollo de tareas que van más allá de las capacidades humanas debido a peso, talla, velocidad, resistencia.

Mejoramiento de la economía y optimización de recursos, la automatización trae mejoras en las industrias, sociedad. Cuando una empresa o nación invierte en automatización estas recuperan en un corto plazo lo invertido como es el caso de Alemania y Japón.

Las principales desventajas son:

Aumento de la tasa de desempleo debido a que las máquinas reemplazan a los humanos.

Algunas limitaciones tecnológicas, actualmente no es posible automatizar todos las tareas por ejemplo en control de calidad en prendas, sistema de transporte, etc.

Riesgos y vulnerabilidad en la seguridad, los sistemas automatizados tienen limitaciones en el nivel de inteligencia y toma de decisiones ante eventos y tareas nuevas.

Costos de desarrollo elevados, sin embargo en un mediano/largo plazo esto se revierte

#### Herramientas para automatizar

[16] En la actualidad existen diversas herramientas tanto de software como hardware con las que se puede llegar a automatizar un área o toda una planta dentro de una industria. Muchas de estas herramientas de software y hardware se encuentran normalizadas por organismos que se encargan de estandarizar a nivel mundial el uso de dispositivos, protocolos, etc. Algunas herramientas que actualmente se vienen usando son por ejemplo:

El CAT o tecnología asistida por computadora, consiste en el uso de una serie de herramientas matemáticas para crear complejos sistemas como por ejemplo AUTOCAD.

La tecnología informática junto con la industria maquinaria y los procesos han asistido en el diseño, implementación y monitoreo de los sistemas de control. Un gran ejemplo de un sistema de control industrial son los PLC o también conocidos como controladores lógicos programables. Los PLC son computadoras robustas especializadas para procesos industriales los cuales procesan señales de entrada para luego activar sus salidas analógicas y/o digitales e interactuar con el proceso a través de actuadores.

Los HMI o también conocidos como Interface Hombre Máquina, son empleados para la comunicación entre los PLC y las computadoras. El personal encargado de monitorear y/o controlar una planta recibe diversos nombres dependiendo del tipo de industria en el que se

desenvuelve por ejemplo en el proceso minero, industria de alimento y en los ambientes de manufacturación reciben el nombre de operadores mientras que en las centrales térmicas, eléctricas reciben el nombre de ingenieros estacionarios.

Algunas de las principales herramientas para automatizar una industria son:

ANN.- Network de Neuronas Artificiales

DCS.- Sistema de Control Distribuido

HMI.- Interface Hombre Máquina

SCADA.- Supervisión, Control y Adquisición de Datos.

PLC.- Controlador Lógico Programable

PAC.- Controlador Automático Programable

Instrumentación

Control de movimiento

## 2.3 CONTROL DE PROCESOS

[10] [17] Disciplina de la ingeniería que aborda arquitecturas, mecanismos y algoritmos con la finalidad de mantener las salidas de un determinado proceso dentro de un rango deseado.

El control de Procesos es ampliamente usado en la industria para la producción en masa en procesos discretos, continuos tales como refinación del petróleo, manufacturación del papel, industria química, plantas generadoras de energía y otros tipos de industria. Gracias al control de procesos, podemos automatizar complejas plantas industriales para que con un reducido número de operadores e ingenieros se pueda llevar el control de la planta desde una sala o cuarto de control.

Un dispositivo de control usado comúnmente para leer y escribir señales digitales y analógicas de entrada y salida es el Controlador Lógico Programable o PLC. Para el caso de control de plantas o sistemas más complejos se vincula a los DCS o sistemas SCADA para realizar dichas tareas.

### Tipos de control de Proceso

Discreto.- Encontrado principalmente en industria de manufacturación, aplicaciones de movimiento y empaquetaduras, ensamblaje robótico como en la producción de automóviles, máquinas textiles, motores, computadoras, etc.

Receta o batch.- Algunas aplicaciones industriales requieren de cantidades proporcionales de distintos materiales y combinaciones aplicados en ciertos instantes o bajo ciertas condiciones de temperatura y presión; este caso se presenta en la producción de pegamentos, adhesivos, preparación de comidas, en la industria de bebidas, elaboración de

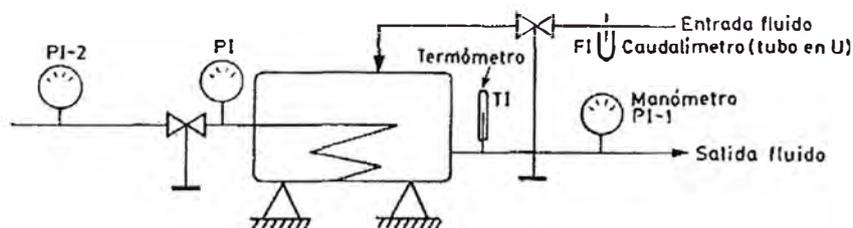
medicinas (industria farmacéutica).

Continuo.- Frecuentemente un sistema físico es representado por variables que son suavizadas y no interrumpibles en el tiempo. Por ejemplo un contenedor cilíndrico de agua que se desea mantener a cierta temperatura para lo cual se usa una chaqueta calefactora alrededor del contenedor con la finalidad de mantener la temperatura a un determinado setpoint es un proceso continuo muy usado en la industria de bebidas y alimentos. Otros procesos continuos se presentan en la elaboración de aceites, químicos y plásticos.

## 2.4 DEFINICIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

Se define como la ciencia y el arte de medir diversas magnitudes, variables físicas que intervienen dentro de los procesos de producción y manufacturación en una planta determinada. Un instrumento es un dispositivo que nos permite medir y/o regular cantidades físicas y variables de un proceso como por ejemplo el flujo, la temperatura, el nivel, la presión. Los instrumentos usados en la automatización de procesos pueden ser simples como el caso de válvulas, transmisores hasta llegar a los instrumentos más complejos como es el caso de analizadores para eficiencia de combustión, analizadores de SO<sub>2</sub> entre otros. También existen instrumentos portátiles o de mano que suelen ser usados en laboratorios como por ejemplo un explosímetro, detectores de humo, etc.

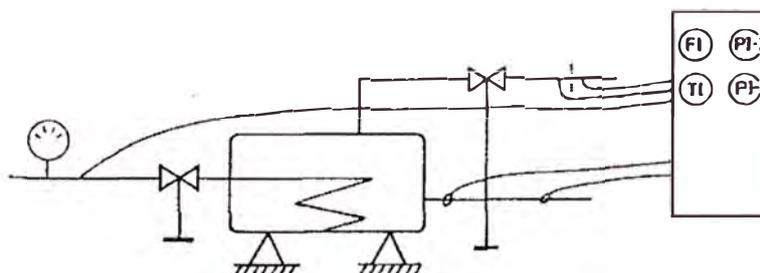
El desarrollo se inició con los manómetros, termómetros y válvulas manuales montadas localmente. En esta fase eran necesarios muchos operadores para observar los instrumentos y maniobrar las válvulas (ver figura 2.7). Los procesos y los instrumentos eran proyectados empíricamente basándose en la intuición y en la experiencia acumulada mas no estaban centralizados para conseguir una mayor eficiencia en las funciones del operador.



**Figura 2.7** Instrumentos montados localmente. (fuente: Instrumentación Creus)

La siguiente etapa fue la centralización de las funciones de medida y de control más importantes, pertenecientes a una operación del proceso, en un panel localmente montado. De este modo podía observarse y controlarse el funcionamiento de cada elemento particular de la instalación de una manera más coordinada y eficaz. Para hacer esto posible,

se desarrollaron instrumentos galvanométricos operados por termopares, termómetros con largos capilares y caudalímetros con largos tubos de conducción de la presión diferencial (fig. 2.8)



**Figura 2.8** Instrumentos centralizados en panel (fuente: Instrumentación Creus)

Sin embargo es a partir de los años 60 en donde empieza a centralizarse la data de todos los instrumentos dentro de una sala o cuarto de control por lo que aparece el término operadores de sala de control. Dicho personal empezó a hacerse cargo del proceso sin la necesidad de estar físicamente en situ o en el campo de acción. La velocidad en la adquisición de datos y su salida hacia los elementos finales de control como válvulas, actuadores, etc debían darse en "tiempo real", esto obligó a utilizar micro controladores de 16bits (este tipo de controladores aparecieron en los años 70). Durante los años 70 como resultado de los esfuerzos por automatizar plantas enteras, el primer sistema de "control distribuido" apareció en noviembre de 1975 (TDC 2000 de Honeywell).

Dentro de los instrumentos más usados para el control de procesos se cuenta con solenoides, válvulas, reguladores de corriente presión, relés; dichos dispositivos son también conocidos como instrumentos de salida o se los puede llamar como elementos finales de control ya que poseen la facultad de ser maniobrados por medio de controladores remotos o un sistema de control distribuido.

La instrumentación para el control de procesos juega un importante rol en la recepción de información como en los cambios para los parámetros de campo a través de los lazos de control. Los transmisores son dispositivos que producen una señal de salida comúnmente en el rango de los 4-20mA, sin embargo existen muchas otras opciones de señal de salida tales como voltaje, frecuencia, presión o incluso paquetes de datos por Ethernet son posibles. Estas señales pueden ser usadas de modo informativo o para enviar datos a un PLC, DCS o un Sistema SCADA con la finalidad de leer dicha data para luego procesarla y usarla en el control de otros dispositivos afines al sistema de control.

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA**

Hasta el momento se ha elaborado el documento planteando y describiendo a detalle el entorno del proyecto y los desafíos a nivel de ingeniería. En el presente y siguiente capítulos se mostrará la solución escogida, las razones primordiales del por qué se trabajó bajo el modelo señalado y finalmente se realizará una comparativa entre dos posibles soluciones. Se analizarán los estándares de Antamina para de esa forma poder adquirir el equipamiento necesario de acuerdo a sus necesidades; las cuales se basan en sus repuestos (stock) y las cualidades técnicas en particular que se requieran según las especificaciones para cada caso. Cabe resaltar que dentro de las características técnicas de los instrumentos, controladores y equipamiento en general que han sido suministrados para el proyecto es muy importante que estos sean aptos para trabajar en condiciones industriales ya que estarán rodeados de motores potentes (decenas de kilowatts) lo que implica alto índice de EMI, disponibilidad para trabajos sobre 4500msnm, alta precisión, repetitividad, estabilidad y excelente tiempo de vida media útil. Todo el equipamiento debe ser entregado con los certificados que acrediten su pleno funcionamiento de acuerdo a las buenas prácticas de instalación y uso. Antamina no aceptará material de segunda mano, reparado, marcas desconocidas o sin trayectoria u equipamiento que no sea adecuado para el correcto intercambio de información de todo el sistema de control íntegro.

Las razones por la que se exigen estos altos niveles de rigurosidad al momento de escoger el hardware es que se tiene planeado trabajar en forma continua y no interrumpida de modo que se tenga un óptimo performance y en lo posible se tenga todo el sistema “Bypass molino SAG” trabajando 24(h)x7(d) durante 355 días al año. Los días restantes del año son paradas programadas (en pocas ocasiones paradas inesperadas), de modo que se pueda realizar trabajos con bajos índices de peligro. Las paradas de planta ayudan en el mantenimiento correctivo, preventivo del equipamiento operativo.

De acuerdo a las bases mencionadas en el capítulo I se debe escoger una gama alta de Controladores Lógicos Programables a fin de poder cumplir los objetivos de programación

y visualización en el sistema SCADA.

En caso de una falla en el hardware de los controladores los tableros eléctricos donde se encuentren los pulsadores locales o los puntos remotos donde se encuentre las botoneras de campo deberán poseer una lógica cableada para poder detener o arrancar el sistema de modo local manual. Para el caso mencionado el modo remoto manual no podrá ser usado ya que el controlador probablemente no responderá al encontrarse en condiciones de falla.

Finalmente se realizará una comparativa entre dos posibles soluciones y de acuerdo a los estándares de la mina se usarán una de estas alternativas.

### **3.1 ESTANDARES USADOS EN LA MINA**

La mina está ubicada en el distrito de San Marcos, en la Región Áncash, a 200 km. de la ciudad de Huaraz y a una altitud promedio de 4,300 metros sobre el nivel del mar. Se cuenta con un puerto, llamado Punta Lobitos, ubicado en la provincia costera de Huarney; a través del minero ducto, con una longitud mayor a los 302km, el mineral concentrado es llevado al puerto para su exportación y comercialización fuera del país.

En cuanto a la instrumentación se tiene por estándar trabajar con equipos que posean como mínimos certificados CSA, UL y para aplicaciones en áreas explosivas (que el presente proyecto no involucra) se requiere tener aprobación TÜV. Adicionalmente se debe otorgar mayor preferencia a las marcas E+H, Rosemount, Siemens, Foxboro en ese respectivo orden ya que actualmente se cuenta con stock y se ha trabajado con dichos equipos de tal manera que se ha comprobado su correcto funcionamiento en las rígidas condiciones ambientales e industriales donde se encuentra ubicada la minera. La innovación, las aplicaciones tecnológicas, el soporte informático y la administración de procesos son herramientas modernas que optimizan el trabajo y los recursos naturales usados. En Antamina se hace uso de dos importantes metodologías de mejora de procesos para continuar a la vanguardia y desarrollar todas las labores con estándares de clase mundial. En razón a estas medidas y otras no expuestas es que se debe considerar equipamiento de primera para el desarrollo y despliegue de los diversos equipamientos que se requiere durante cada proyecto.

Antamina tiene como estándar utilizar controladores robustos, de amplia o prestigiosa reputación. El proceso a automatizar requiere poseer redundancia en los procesadores ya que si por alguna razón desconocida inicialmente existiese una falla en uno de los CPU's de los controladores redundantes el otro CPU del sistema redundante será capaz de retomar el control del proceso sin llegar a detener a la planta. Se resalta que por la experiencia

obtenida por el grupo Antamina a nivel internacional y el *“know how”* de los ingenieros pertenecientes al área de sala de control, mantenimiento y control de procesos se recomienda trabajar con equipamiento en la marca Allen Bradley a fin de seguir manteniendo y ampliando los repuestos, partes removibles de dichos controladores que ya se encuentran actualmente instalados en muchas áreas de la mina.

### 3.2 ARQUITECTURA DE CONTROL REQUERIDA ¿DCS o PLC?

[18] Aún para profesionales que se encuentran laborando en el área de control y automatización es medianamente complejo poder distinguir que un determinado tipo de aplicación requiere de la instalación de un DCS o de un PLC. En mi experiencia personal he podido apreciar aplicaciones en donde he visto más conveniente usar un DCS pero se encuentra instalado una serie de PLC, en otra oportunidad he podido apreciar a grandes empresas que cambian sus sistema de control distribuido por un sistema distribuido basado netamente en PLC's; en aplicaciones de Oil&Gas he podido apreciar que existe un predominio de los DCS básicamente debido a que poseen certificaciones TÜV para trabajar en condiciones donde se requiere equipamiento que cumpla con ser SIL2 o SIL3. Finalmente mi conclusión personal luego de haber conversado incluso con compañeros colegas orientados en el rubro de automatización y control que hasta para los *entendidos o conocedores de estos equipos* está "medianamente claro" cuando usar un DCS o un PLC.

Porque la verdad es que estas dos tecnologías se parecen cada vez más; o al menos eso están intentando algunos proveedores o vendors. Para entender de qué se trata cada uno, veamos qué significan las siglas y de dónde surgieron.

PLC: Del inglés "Programmable Logic Controller" o Controlador Lógico Programable. Surge del reemplazo de los antiguos paneles de relays alambrados, haciéndolo de la misma forma pero por programa. Originalmente orientados a lógica discreta o booleana, debido a este origen tienen un alto predominio en procesos tipos secuenciales o discretos según lo resaltado en el inciso 2.3

DCS: Del inglés, Distributed Control System, o Sistema de Control Distribuido. Como una evolución de los "controladores" autónomos (lógica regulatoria), es un sistema que se programa en forma centralizada, pero que su lógica se ejecuta en forma distribuida en equipos medianamente inteligentes y autónomos. Orientados principalmente a lógica regulatoria o análoga, debido a este origen predominaron inicialmente en procesos del tipos continuos según lo resaltado en el inciso 2.3

Hoy por hoy, los equipos se parecen mucho y difieren en pocos conceptos. Algunas

diferencias que aún persisten son resaltadas a continuación:

#### Forma de Programación/ejecución:

DCS.- Se configura centralizadamente y el código se ejecuta en forma distribuida. Como mínimo en dos componentes aunque dependiendo de las marcas existen distintos conceptos en la elaboración del software y hardware. El controlador que ejecuta la lógica y el HMI que realiza las funciones de visualización, datalogger u registro.

PLC.- Su configuración se ejecuta en el controlador o CPU, pero requiere de una programación separada para realizar las funciones de interface de operador: visualización, registros, etc. Las tareas de vinculación entre los Tag del controlador con los Tag del HMI pueden ser engorrosas y tomar mucho tiempo pero teniendo los conceptos claros, un buen orden y metodología en el desarrollo se puede hacer el trabajo de manera eficaz.

#### Integridad de la programación:

DCS. Relacionado con lo anterior, el código se configura/programa en un sólo paso en el controlador y HMI. Sin embargo esto no implica que se deje de hacer trabajos de reordenamiento en las animaciones, pantallas, cambios en los enlaces de tag, etc.

PLC. En cambio, la programación en PLC y HMI se realiza en dos pasos completamente diferenciados. De hecho, se utilizan para ello dos herramientas de programación completamente distintas por lo que el trabajo es más extenso y engorroso.

Tiempos de ejecución. Aunque ambos pueden realizar bajo ciertas condiciones las mismas tareas, generalmente:

DCS ejecuta su lógica en forma periódica. Tiempos típicos de ejecución de ciclo son del orden de 50 milisegundos pero pueden llegar a ejecutarse hasta en algunos pocos segundos para los casos donde existan varios bucles o lazos anidados o autoalimentados.

PLC ejecuta su lógica tan rápido como puede; en muchos casos de manera asíncrona para luego volver a ejecutar el siguiente ciclo. Si la aplicación lo requiere se puede realizar tareas de manera periódica para ello se debe definir un tiempo de scan y un nivel de prioridad. Su ciclo es esencialmente variable y puede ir desde unos 5 milisegundos a unos 300 milisegundos

Lenguajes de programación. También son ahora prácticamente iguales, pero lo natural es:

DCS se programa normalmente en diagramas de bloques o de función.

PLC se programa naturalmente en diagrama de escalera o "ladder". Aunque hoy el estándar es que use cuatro o cinco lenguajes distintos, dentro de los que está también el diagrama de bloques o funciones. Dicho estándar de programación para controladores industriales se

encuentra normado acorde a la IEEE. Ver anexo para mayor detalle

Gestión de alarmas.

DCS. Las alarmas son gestionadas a nivel primario por el controlador; después el HMI las despliega, registra y son manipuladas por el operador

PLC. Las alarmas son normalmente gestionadas en su totalidad por el HMI pero se dispone de la opción de poder ser también maniobradas desde los controladores.

De todas las diferencias mencionadas, la que es más notoria es la Integridad de la programación, ya que puede llegar a representar para el configurador un ahorro notable de esfuerzo. Que es compensado parcialmente por la facilidad con que el PLC se configura y la mayor difusión que estos tienen. En buena medida esto se debe a la gran diferencia de precios que existe entre un DCS y un PLC (relación de 6 a 1).

Otra razón importante en la distribución o difusión de estos equipos tiene que ver en buena medida con la historia, porque en el pasado las diferencias de precios entre DCS y PLC podían ser del orden de 5 a 1 en promedio (Emerson y AB puede ser de 10 a 1 actualmente). En el presente, existen sistemas DCS en el mismo rango de precios de algunos PLCs.

Es muy esperable que los párrafos mencionados tengan opiniones diversas, porque también se da que existen grupos de usuarios muy proclives a utilizar una u otra tecnología. Básicamente debido a la experiencia previa acumulada. Finalmente la mejor decisión de escoger uno u otro sistema radica en un análisis profundo del tipo de proceso que se tiene y el nivel de robustez y seguridad que es necesario para la aplicación en evaluación y la preparación, conocimiento del personal contratado.

Por lo mencionado en los capítulos anteriores y teniendo muy en claro la arquitectura de control (ver Figura 1.14) y los estándares usados por Antamina se escogió como controlador a usar los ControlLogix 5000 del Vendor Allen Bradley.

### **3.3 LÓGICA CABLEADA REQUERIDA**

Los diagramas con el cableado duro que se requieren se encuentran adjuntos en la carpeta “**Planos Eléctricos Equipos**” asociada al proyecto. En dicha carpeta se podrá ver el detalle de las conexiones eléctricas las cuales se basan en los lineamientos que a continuación se describen:

El controlador en todo momento ya sea en forma local o remota deberá registrar todas las variables digitales, analógicas y variables generadas por software en forma continua e ininterrumpida. No se cuenta con un sistema de servidores redundantes por lo que cada vez

que el servidor que contiene al SCADA Wonderware sea apagado o reseteado se perderá información instantánea durante los segundos, minutos que se encuentre en estado “off”.

En el modo local la mayoría de motores no poseen dependencia directa del PLC en la lógica de control para el arranque. En el caso de los motores de la faja 317-CVB-031 y 317-CVB-032 las botoneras de arranque & parada siempre estarán vinculadas a sus respectivos variadores suaves, jamás se encenderán dichos motores por medio de un arranque directo debido a que poseen una enorme corriente de arranque. Bajo el mando o modo local las botoneras de campo mandarían la señal eléctrica de arrancar al momento de presionar “start”, la señal eléctrica de detenerse al momento de presionar “stop”, adicional a lo mencionado existe un tercer botón llamado “jog” el cual envía un pequeño pulso para establecer el arranque del motor siempre y cuando se tenga dicho botón presionado por un lapso de 30segundos. Es estándar de la mina utilizar botoneras de mando con estas 3 señales.

Para el caso del modo remoto no existirá de momento una secuencia automática por lo que durante la fase inicial de arranque el operador desde sala de control deberá activar cuidadosamente cada uno de los motores teniendo en cuenta que estos no posean permisivos (PERMS) ni alarmas eléctricas activadas (EPI o EEI). En el modo remoto los diversos controladores remotos distribuidos de acuerdo a la arquitectura de control presentada en la Figura 1.14 serán los encargados de mandar el comando de arranque eléctrico de los motores. Para apreciar mayor detalle de la lógica cableada podemos ir a la carpeta asociada al proyecto y visualizar los diagramas esquemáticos para cada motor asociado a las distintas etapas del proceso de Bypass.

### **3.4 COMPARATIVA ENTRE 2 POSIBLES SOLUCIONES DE PLC**

Teniendo en cuenta que Antamina tiene una gran mayoría de sus procesos automatizados, se requiere tener equipamiento de primera de modo que pueda soportar las condiciones industriales y las adversidades atmosféricas donde se encuentran instalados. A continuación se darán especificaciones de 2 grandes marcas que cumplen técnicamente con lo necesario para dar solución al proyecto en análisis. Entre los puntos más importantes que podemos resaltar para la comparativa sin llegar a profundizar en la arquitectura de desarrollo del hardware y componentes internos de los controladores de Allen Bradley – Rockwell Automation (Rockwell) y los controladores de Siemens de la serie S7-3XX tenemos:

\*) Comparativa entre procesadores

**Tabla 3.1** Tabla Comparativa (fuente: Internet Rocwell vs Siemens)

Siemens S7-300	Rockwell
313C	L23 Serial
314C-DP	L23 EtherNet/IP,
315-2 DP	L32E, L32C
317-2 DP	L35CR, L35E
317T-2 DP	L43, L45
319-3 PN/DP	L45, L61

\*) Software de programación:

RSLogix5000.- es un software sencillo y fácil de manipular, la estructura del programa implementado se basa en programas, tareas continuas y periódicas, rutinas. Las tareas periódicas se ejecutan de acuerdo a su prioridad y no pueden existir 2 con el mismo valor de prioridad.

Step7.- este software de programación tiene muchas similitudes con el RSLogix5000, usa una estructura de programa basado en OB de ciclo de programa, OB de interrupción cíclica, OB por interrupción de fallas en hardware. Ambos programas de configuración cumplen con las normas de lenguajes de programación de la IEEE.

\*) Una diferencia muy importante es el modo de organizar la memoria interna. Los datos en Step7 tienen direcciones absolutas en áreas seleccionables de memoria. En el RSLogix5000 la información se organiza en bases de datos de tags: no existe direccionamiento absoluto lo cual permite relacionar cada TAG con una variable física de campo. Esta ventaja nos permite interpretar un programa sin necesidad de adjuntar comentarios en los rungs o en el momento que se realiza un upload directo desde el CPU del controlador.

\*) En Logix se pueden definir variables (tags) globales en la base de datos bajo el control del controlador y puede accederse a ellas mediante rutinas en cualquier parte del programa. Sin embargo, si definimos los tags bajo el control del “programa” solo pueden ser utilizadas en rutinas en dicho “programa” para evitar este problema se suelen definir los tags en la base de datos general de toda la aplicación llamada controller tags.

\*) En Logix, a una variable se le pueden asignar diferentes nombres mediante alias. Uno de los usos más evidentes es asignar nombres descriptivos a los tags que por defecto se asignan a las entradas y salidas. Una rutina en lenguaje LD se divide en rungs (peldaños),

equivalente a los segmentos de Step7. Algunos programadores los llaman renglones, debido a una mala traducción de rungs.

\*) Si es necesario ejecutar funciones con paso de parámetros, lo que serían los FB en Step7, en Logix existen las instrucciones Add-on con área de datos privados.

Comparación entre las instrucciones Add-On y los FB:

Ambas se pueden llamar como funciones desde cualquier lugar del programa.

Ambas contienen un área de datos propios de datos estáticos (este área en el Add-on es totalmente privado).

En una instrucción Add-on no existe área de datos temporales.

Ambas tienen tres tipos de parámetros: entrada (paso por valor), salida (paso por valor) y entrada-salida (paso por referencia). El parámetro de paso por referencia es una gran ventaja puesto que permite que se pasen eficientemente grandes estructuras de datos.

Con la instrucción Add-On se puede configurar una rutina previa al scan para que se ejecute cuando el controlador cambia del modo de programación al modo run, o se activa en el modo run. Bajo estas condiciones, la rutina previa al scan se ejecutará una vez y normalmente se usa para inicializar los datos. Es similar a lo que hace el OB100 en Step7.

\*) En Step7, al iniciar el ciclo de *scan* se lee la imagen de proceso de entradas, se ejecuta el programa y se vuelcan las salidas, de forma que durante un mismo ciclo de *scan* sus valores permanecen constantes. Sin embargo en los sistemas Logix, las entradas y salidas se actualizan asincrónicamente, con lo cual, si se necesita que las entradas/salidas se mantengan sin variación durante la ejecución del programa, deberá ser mantenido en cuenta por el programador (uso de imágenes en el ladder).

\*) Internamente todos los tipos de datos enteros se tratan en 32 bits. Si usamos uno de 8 o 16 será convertido a 32, con lo que siempre es más eficiente usar DINT que INT o SINT; estos tipos de datos se proporcionan por compatibilidad con la IEC61131-3.

\*) En Logix no hay punteros. Las matrices realizan la misma función que los punteros, pero son más simples y seguras.

\*) Mucha de la programación utilizada en el RSLogix5000 está orientada a objetos mientras que la programación elaborada en el Step7 se basa en manejo de bits y lenguaje de programación de bajo nivel.

Teniendo en cuenta la información brindada Antamina tiene como estándar el uso de controladores AB para la mayoría de sus procesos. Estos controladores poseen una fácil programación y se ajustan perfectamente al ambiente industrial donde serán montados.

## CAPÍTULO IV

### **ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

A continuación se muestra partes de la estructura del programa elaborado e instalado en la memoria EPROM y la memoria Compact Flash del controlador redundante ControlLogix5000. La organización del programa se basa en la creación de una tarea continua y sobre esta algunos programas para luego sobre cada programa tener múltiples rutinas que encapsulan la lógica necesaria para el control de un motor, intercambio de datos vía Modbus RTU, intercambio de datos vía ControlNet, el cual se usa para la comunicación con los IO remotos, DeviceNet para la comunicación con el CCM y por último el intercambio de datos usando el protocolo Ethernet IP.

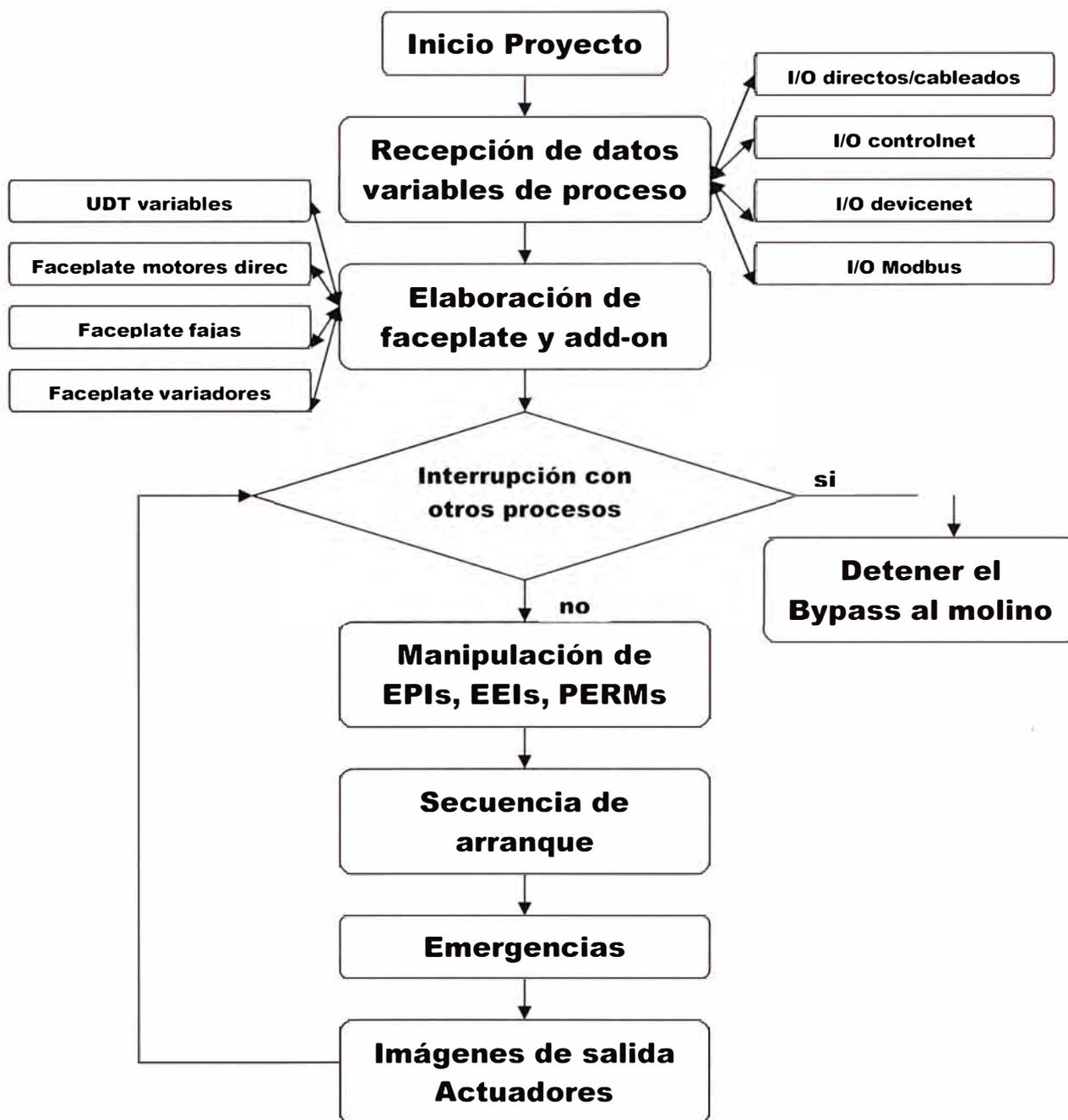
Sobre el desarrollo de la lógica de control para nuestra aplicación se tiene 3 tareas periódicas, los cuales poseen programas puntuales y sobre estos programas se desprenden rutinas específicas. Para analizar a mayor profundidad el programa se deja una copia del mismo en la carpeta vinculada al proyecto en versión L5K la cual puede ser visualizada con el software NotePad y en versión ACD la cual puede ser visualizada con el software RSLogix 5000.

Para el caso del desarrollo de las pantallas del sistema SCADA se ha usado el software Intouch 10.1 y el software de enlace para nuestra simulación es el RSLinx Lite Clasic pero para la configuración en campo se uso el software OPC recomendado por Wonderware DASABCIP-Suitelink ya que permite un enlace o conexión directa entre los controladores AB y el software SCADA Intouch. La aplicación junto con los scripts y todas las pantallas elaboradas se deja en la carpeta ligada al proyecto para fines de profundización en el tema de programación.

Finalmente se realizará una simulación de la operación en conjunto del software de control ladder junto con el software de visualización SCADA. Para poder realizar dicha simulación al programa operativo dejado en campo se tendrá que agregar una rutina adicional, la cual llamaremos simulación, que tendrá como fin poder realizar las confirmaciones y activaciones emuladas del arranque de motores o aperturas y cierres de

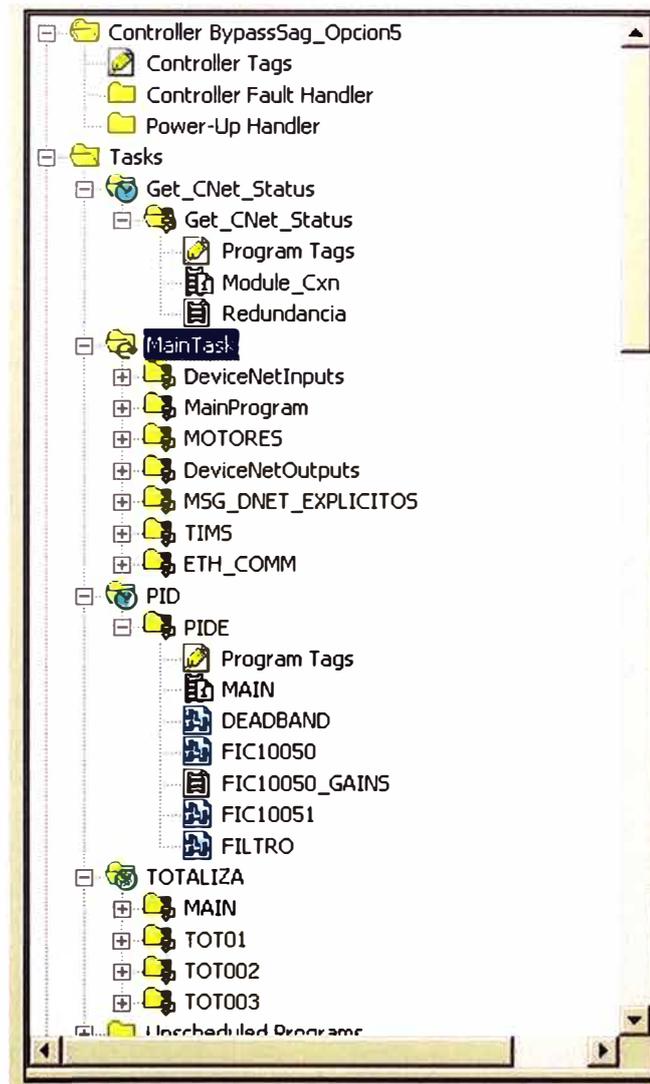
válvulas neumáticas que permiten el paso del agua de proceso. Para realizar la simulación usaremos también un simulador de controladores llamado RSLogix Simulator.

El diagrama de flujo general que se mantuvo en mente para la elaboración de la lógica de control en “LADDER” que gobierna a todo el Proyecto Opción 5 es el que se muestra:



#### 4.1 PROGRAMAS EN LENGUAJE LADDER

[4] En la presente etapa se brinda detalles genéricos del control que realizan las diversas rutinas del programa desarrollado bajo la herramienta de programación RSLogix5000. Para el caso se busca profundizar sobre el ladder desarrollado se deja los manuales y la aplicación desarrollada, debidamente documentada, en la carpeta del proyecto.



**Figura 4.1** Tareas Continuas y Periódicas (fuente: RSLogix 5000, personal)

La tarea continua resalta en la imagen superior es la encargada de llevar toda la lógica de control de los motores con arrancadores directos, variadores para los motores de fajas transportadoras y apertura-cierre de las válvulas de control proporcionales. Se escogió realizar toda la lógica de control importante en este tipo de tarea continua ya que los tiempos de SCAN son los más óptimos, además constantemente dicho tipo de tareas siempre se ejecutan durante el SCAN del CPU. Las tareas periódicas siempre se ejecutan durante un tiempo múltiple del valor en milisegundos seteado para su ejecución. Para el caso que durante un SCAN no se pueda iniciar la tarea periódica lo que hace el procesador es esperar el siguiente SCAN y realizar la tarea durante el siguiente tiempo múltiple configurado.

La tarea principal llamada “MainTask” posee los siguientes programas:

DeviceNetInput.- Contiene toda la lógica necesaria para la vinculación de datos de entrada

proveniente del protocolo de comunicación DeviceNet. Algunos de los parámetros de entrada que podemos leer gracias a esta rutina son las corrientes instantáneas consumidas por los motores con arrancadores directos. Entre otros parámetros que podemos visualizar tenemos nodo de la red DeviceNet, falla a tierra, falla por sobre corriente, status del motor (prendido, apagado, en falla). A diferencia de los datos explícitos sobre DeviceNet; estos datos extraídos son obtenidos de manera continua durante el funcionamiento del CPU del controlador. Estos motores utilizan un arrancador directo ABB llamado UMC22, para el caso de que busquemos ver el manual de operación del UMC22 basta solo darle clic en las letras “pdf” de la ventana SCADA que corresponda.

MainProgram.- Contiene varias rutinas muy importantes para la captura de data proveniente de las tarjetas IO remotas. Para mayor detalle se dispone de la aplicación en la carpeta adjunta al proyecto. Sobre dicho programa se tiene el ladder necesario para capturar todos los datos de las señales digitales de entrada, habilitar y deshabilitar señales digitales, tiempos de retraso y todo lo que tenga que ver con el tratamiento de la señal digital proveniente de campo, capturar todos los datos de las señales analógicas de entrada, habilitar y deshabilitar señales analógicas, tiempos de retraso, filtros de primer orden, activación-desactivación de advertencias y alarmas (warning, trips) y todo lo que tenga que ver con el tratamiento de la señal digital proveniente de campo. “MainProgram” contiene la información cableada principal de la faja CVB-004 y la información del status de los molinos de bolas. Adicionalmente dicho program captura y realiza el tratamiento de lectura y escritura de la data proveniente por Modbus RTU hacia la tarjeta SCAN Modbus (ver Figura 1.15 para ubicar Scanner). Inicialmente la data proveniente de la faja CVB-004 y la data proveniente de los molinos de bola eran enviadas al ControlLogix mediante software OPC de DCS Bailey pero al ser esta información muy importante para el inicio o paralización de todo el sistema “OPCIÓN 5” se decidió llevar dicha información de manera cableada.

MOTORES.- Luego de tener vinculada la data proveniente por DeviceNet, recopilación de información de las IO remotos, este programa se encarga de realizar la lógica de habilitar/deshabilitar forzados, monitorea y controla los EPI, EEI y PERMS. Dentro de dicho programa encontraremos para cada motor un “Add-on” o bloque funcional creado de manera uniforme el cual nos permitirá manejar los colores que se usa por estándar para la visualización del status de cada motor en la pantalla del SCADA.

DeviceNetOutput.- Contiene toda la lógica necesaria para la vinculación de datos de salida

proveniente del protocolo de comunicación DeviceNet. Algunos de los parámetros de salida que podemos escribir gracias a esta rutina son el comando de arranque, reset por fallas particulares o reset por fallas generales. A diferencia de los datos explícitos sobre DeviceNet; estos datos extraídos son obtenidos de manera continua durante el funcionamiento del CPU del controlador. Estos motores utilizan un arrancador directo ABB llamado UMC22 (Universal Motor Controller). Al darle clic al “pop up” del SCADA que posea algún motor con este tipo de arrancador se podrá visualizar toda la información proveniente de dicho nodo.

MSG DNET EXPLICITOS.- Dicha rutina posee código adicional en DeviceNet para poder extraer información no continua (no actualizable durante cada instante) pero necesaria para el monitoreo o diagnóstico de lo que ocurre con el equipo. Esta información se actualiza siempre y cuando se active en el pop up del motor la casilla de diagnóstico DeviceNet. Todos los motores y variadores poseen la alternativa de realizar diagnóstico remoto. Para poder apreciar mayor detalle se ha colocado la pantalla de diagnóstico para el caso de un variador de velocidad (ver Figura 4.2.2)

TIMS.- La chancadora Hidro-cono contiene un PLC Beck Off encargado de monitoreo y control de la etapa de chancado en el proyecto Bypass Molino SAG “OPCION5”. La información intercambiada entre el PLC Beck Off con los controladores Allen Bradley se realiza mediante el protocolo de comunicación Modbus RTU. El canal de comunicación físico está cableado a una segunda tarjeta Scanner Modbus RTU que se encuentra en el primer gabinete 951. Sobre dicho programa podemos encontrar todo lo relativo a estatus de variables digitales, analógicas entorno a la chancadora. Se debe hacer presente que la chancadora posee un HMI exclusivo que es finalmente el que controla la operación automática de chancado. Mediante Modbus RTU lo único que se hace es monitorear sus variables para de ese modo tener la representación del sistema e historizar los eventos y tendencias asociadas.

ETH COMM.- Posee información enviada por el protocolo de comunicación Ethernet IP para el monitoreo y control de las compuertas de alimentación llamada Tripper estacionario, la cual lleva material triturado proveniente de la chancadora primaria de todo el proceso de extracción del mineral. Es a través de la red Ethernet IP que el sistema SCADA puede intercambiar datos en tiempo real con el controlador ControlLogix. A continuación un ejemplo de lo que podemos visualizar en uno de los faceplates del sistema SCADA elaborado.

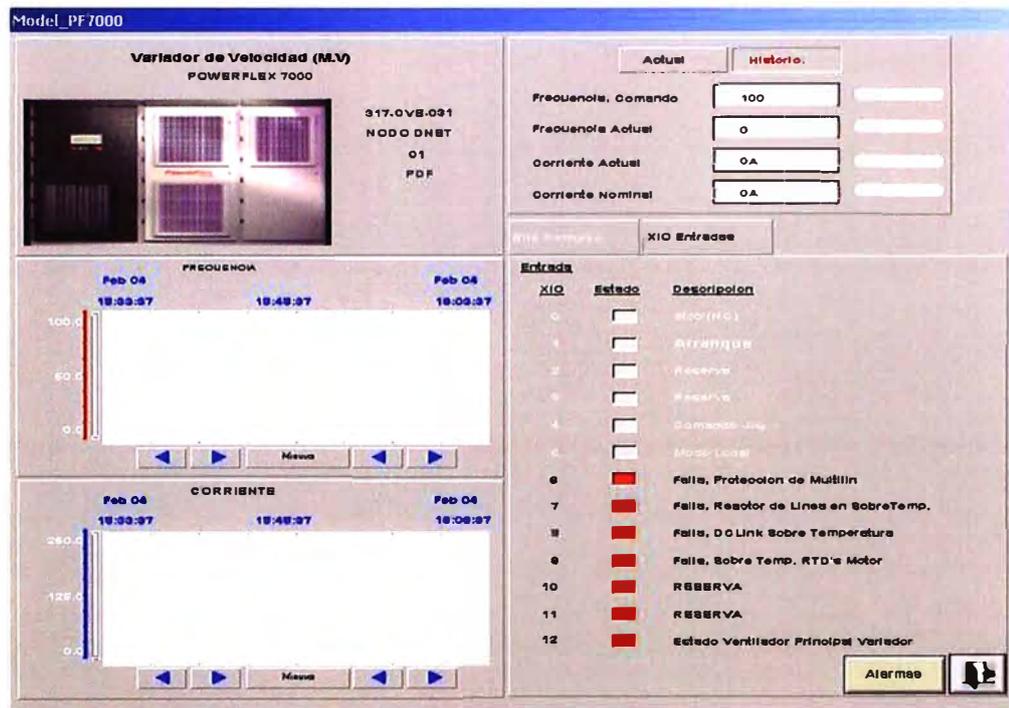


Figura 4. 2 Tareas Continuas y Periódicas (fuente: Scada Intouch, personal)

**Programa para SCAN Modbus RTU.-** Para el scanner Modbus RTU se ha dejado descargado un programa el cual permite enlazar o cargar la base de datos de Tags en el software RSLogix5000. A través de una serie de registros y comandos Modbus se extrae la información necesaria para cada nodo Modbus. Para tener mayor detalle de los nodos Modbus y de las variables extraídas podemos observar la **Tabla 4.2.1** o en la carpeta vinculada al proyecto el archivo CSI\_IOLIST\_REV1.xls (hoja Multilins & TIMS). Se debe tener presente que se tiene un scanner dedicado a la captura de la data proveniente de los Multilins o relés de protección GE y un segundo scanner dedicado a la captura de la data proveniente de PLC de la Chancadora Hidro-cono TIMS.

**Programa para SCAN DeviceNet.-** Para el scanner DeviceNet se ha dejado descargado un programa el cual permite enlazar o cargar la base de datos de Tags en el software RSLogix5000. A través de una serie de registros y comandos DeviceNet se ha mapeado la información necesaria a registrar para cada nodo DeviceNet. Para tener mayor detalle de dicha información de los nodos y de las variables físicas leídas podemos observar la **Tabla 4.1.2** o en la carpeta vinculada al proyecto el archivo CSI\_IOLIST\_REV1.xls (DEVICENET ENTRADAS & DEVICENET SALIDAS).

**Programa para SCAN ControlNet.-** Para los diversos scanners ControlNet se ha dejado descargado un programa, que fue elaborado usando el RSNetwork for ControlNet, el cual permite enlazar y cargar la base de datos de Tags en el software RSLogix5000,

adicionalmente este software nos permite configurar el tiempo del NUT (Network Update Time) para poder recibir la información de los diversos IO remotos en un intervalo de tiempo determinado en el orden de los milisegundos. Para nuestra aplicación existen 5 nodos ControlNet (incluyendo el procesador redundante). En el “*ControllerTag*” del RSLogix 5000 podemos apreciar las diversos Tag o etiquetas creados automáticamente cada vez que se agrega tarjetas, módulos, en general nuevo hardware en la IO Configuration del software RSLinx.

Es muy importante resaltar que los protocolos de comunicación usados son gestionados y supervisados por la ODVA. Para aplicaciones en tiempo real se suele utilizar en el nivel 4 del modelo OSI para el Nivel de Transporte el protocolo UDP ya que dicho protocolo es más rápido y posee menor latencia comparado con el TCP. De acuerdo a la ODVA para el Protocolo Ethernet IP diseñado por Rockwell se tiene habilitado lo siguiente:

- \*) Transferencia de data crítica como las IO básicas se realiza mediante “User Datagram Protocol” (UDP), esto permite mensajería implícita (cíclica). En nuestra aplicación desarrollada en “ladder” podemos apreciar el uso del UDP en el programa “DeviceNet”.
- \*) Carga y descarga de parámetros, setpoint y manejo de variables menores a través de TCP (mensajería explícita). En nuestra aplicación desarrollada en “ladder” podemos apreciar el uso del TCP en el programa “DNet\_Explicito”.
- \*) Consultas cíclicas y de cambio de estado monitoreado bajo UDP. Son ejemplos en la plataforma Control Logix las variables RPI.
- \*) Mensajería mediante uno a uno (unicast), uno a varios (multicast) y uno a todos (broadcast) mediante el protocolo TCP.
- \*) Ethernet IP y los sub protocolos envueltos en él como son ControlNet y DeviceNet hacen uso de los conocidos puertos 44818 para cuando se usa el TCP en mensajería explícita y el puerto 2222 para cuando se usa el UDP en mensajería implícita.
- \*) La capa de aplicación del protocolo Ethernet IP está basada en Common Industrial Protocol (CIP) al igual que para los protocolos ControlNet y DeviceNet.
- \*) Ethernet IP es promocionado como protocolo abierto por ello sus códigos fuentes pueden ser descargados de modo libre mediante sourceforge.net o mediante la website de la ODVA, sin embargo para su distribución y venta se requiere tener un número de registro otorgado por la ODVA por lo que concluimos no es un protocolo abierto.
- \*) Tener presente que el protocolo Ethernet TCP/IP está orientado a “conexión” mientras que los protocolos industriales con UDP están orientados a “conexión por mensajería”.

Tabla 4..1 Tabla de datos Multilins (fuente: Personal)

Motor	Descripcion	Unidad	Scale	Direcc. Modbus Hexa	Direcc. Modbus Decimal	Formato	Direcc. Logix (Modulo MCM)	Direcc. Logix (HMI)
317-CVB-031	Corriente Fase A	A	1	300	768	F9	MCMR.DATA.ReadData[0], [1]	MULTILIN_N01.CorrFaseA
	Corriente Fase B	A	1	302	770	F9	MCMR.DATA.ReadData[2], [3]	MULTILIN_N01.CorrFaseB
	Corriente Fase C	A	1	304	772	F9	MCMR.DATA.ReadData[4], [5]	MULTILIN_N01.CorrFaseC
	Corriente Promedio	A	1	306	774	F9	MCMR.DATA.ReadData[6], [7]	MULTILIN_N01.CorrProm
	Carga	FLA	0.01	308	776	F3	MCMR.DATA.ReadData[8]	MULTILIN_N01.Carga
	Corriente de Desalance	%	1	309	777	F1	MCMR.DATA.ReadData[9]	MULTILIN_N01.CorrDesb
	Corriente de Tierra	A	0.01	30B	779	F11	MCMR.DATA.ReadData[10], [11]	MULTILIN_N01.CorrTierra
	Voltaje AB	V	1	340	832	F1	MCMR.DATA.ReadData[12]	MULTILIN_N01.VoltAB
	Voltaje BC	V	1	341	833	F1	MCMR.DATA.ReadData[13]	MULTILIN_N01.VoltBC
	Voltaje CA	V	1	342	834	F1	MCMR.DATA.ReadData[14]	MULTILIN_N01.VoltCA
	Voltaje Promedio	V	1	343	835	F1	MCMR.DATA.ReadData[15]	MULTILIN_N01.VoltProm
	Frecuencia	Hz	0.01	348	840	F3	MCMR.DATA.ReadData[16]	MULTILIN_N01.Frec
	Factor de Potencia	-	0.01	370	880	F21	MCMR.DATA.ReadData[17]	MULTILIN_N01.PotFactor
	Potencia Real en Kw	Kw	1	371	881	F12	MCMR.DATA.ReadData[18], [19]	MULTILIN_N01.PotRealKw
	Potencia Real en Hp	Hp	1	373	883	F1	MCMR.DATA.ReadData[20]	MULTILIN_N01.PotRealHp
	Potencia Reactiva	Kvar	1	374	884	F12	MCMR.DATA.ReadData[21], [22]	MULTILIN_N01.PotReact
	Capacidad Termica	%	1	201	513	F1	MCMR.DATA.ReadData[24]	MULTILIN_N01.CapacTerm
	Bloqueo	s.	1	2b1	689	F1	MCMR.DATA.ReadData[25]	MULTILIN_N01.Bloqueo
	Numero de Trips	-	1	430	1072	F1	MCMR.DATA.ReadData[26]	MULTILIN_N01.NumTrips
	Horas de Operación	Hrs	1	4A0	1184	F9	MCMR.DATA.ReadData[27], [28]	MULTILIN_N01.HrOper
Causa de Ultimo Trip	-	-	220	544	FC134	MCMR.DATA.ReadData[29]	MULTILIN_N01.Trip	
Estado Rele	-	-	211	529	FC141	MCMR.DATA.ReadData[30]	MULTILIN_N01.Estado	
317-CRC-011	Corriente Fase A	A	1	1800	6144	F060	MCMR.DATA.ReadData[70], [71]	MULTILIN_N03.CorrFaseA
	Corriente Fase B	A	1	1802	6146	F060	MCMR.DATA.ReadData[72], [73]	MULTILIN_N03.CorrFaseB
	Corriente Fase C	A	1	1804	6148	F060	MCMR.DATA.ReadData[74], [75]	MULTILIN_N03.CorrFaseC
	Corriente de Desalance	%		A300	41728	F001	MCMR.DATA.ReadData[76]	MULTILIN_N03.CorrDesb
	Corriente de Tierra	A	1	1814	6164	F060	MCMR.DATA.ReadData[77], [78]	MULTILIN_N03.CorrTierra
	Voltaje AB	V	1	1A0F	6671	F060	MCMR.DATA.ReadData[79], [80]	MULTILIN_N03.VoltAB
	Voltaje BC	V	1	1A11	6673	F060	MCMR.DATA.ReadData[81], [82]	MULTILIN_N03.VoltBC
	Voltaje CA	V	1	1A13	6675	F060	MCMR.DATA.ReadData[83], [84]	MULTILIN_N03.VoltCA
	Frecuencia	Hz	1	1D80	7552	F003	MCMR.DATA.ReadData[85], [86]	MULTILIN_N03.Frec
	Factor de Potencia		1	1C18	7192	F013	MCMR.DATA.ReadData[87]	MULTILIN_N03.PotFactor
	Potencia Real en Kw	W	1	1C00	7168	F060	MCMR.DATA.ReadData[88], [89]	MULTILIN_N03.PotReal
	Potencia Reactiva	Var	1	1C08	7176	F060	MCMR.DATA.ReadData[90], [91]	MULTILIN_N03.PotReact
	Capacidad Termica	%	1	6641	26177	F01	MCMR.DATA.ReadData[92]	MULTILIN_N03.CapacTerm
	Bloqueo	s.	1	664F	26191	F01	MCMR.DATA.ReadData[93]	MULTILIN_N03.Bloqueo
	Numero de Trips	-	-	800	2048	F04	MCMR.DATA.ReadData[94], [95]	MULTILIN_N03.NumTrips
	RTD Input Value 1	oC	1	34F0	13552	F002	MCMR.DATA.ReadData[96]	MULTILIN_N03.RTD[1]
	RTD Input Value 2	oC	1	34F1	13553	F002	MCMR.DATA.ReadData[97]	MULTILIN_N03.RTD[2]
	RTD Input Value 3	oC	1	34F2	13554	F002	MCMR.DATA.ReadData[98]	MULTILIN_N03.RTD[3]
	RTD Input Value 4	oC	1	34F3	13555	F002	MCMR.DATA.ReadData[99]	MULTILIN_N03.RTD[4]
	RTD Input Value 5	oC	1	34F4	13556	F002	MCMR.DATA.ReadData[100]	MULTILIN_N03.RTD[5]
RTD Input Value 6	oC	1	34F5	13557	F002	MCMR.DATA.ReadData[101]	MULTILIN_N03.RTD[6]	
RTD Input Value 7	oC	1	34F6	13558	F002	MCMR.DATA.ReadData[102]	MULTILIN_N03.RTD[7]	
RTD Input Value 8	oC	1	34F7	13559	F002	MCMR.DATA.ReadData[103]	MULTILIN_N03.RTD[8]	

4.2 Tabla de datos DeviceNet (fuente: personal)

317-CVB-031	CNBR1:1:I.Data[0]	Speed Feedback				Logic Status					
	CNBR1:1:I.Data[1]	DatalinkOutA2: Motor Current (Par 361)				DatalinkOutA1: Rated Motor Current (Par 23)					
	CNBR1:1:I.Data[2]	DatalinkOutB2: XIO Fault Input (Par 431)				DatalinkOutB1: Motor Voltage (Par 362)					
	CNBR1:1:I.Data[3]	DatalinkOutC2: Torque(294)				DatalinkOutC1: XIO Input (Par 421)					
317-CVB-032	CNBR1:1:I.Data[4]	Speed Feedback				Logic Status					
	CNBR1:1:I.Data[5]	DatalinkOutA2: Motor Current				DatalinkOutA1: Rated Motor Current					
	CNBR1:1:I.Data[6]	DatalinkOutB2: XIO Fault Input				DatalinkOutB1: Motor Voltage					
	CNBR1:1:I.Data[7]	DatalinkOutC2: Reserva				DatalinkOutC1: XIO Input					
317-SCR-011		BYTE 0	WARNING	FAULT	-	-	-	-	-	-	
	CNBR1:1:I.Data[8]	BYTE 1	DI5	DI4	DI3	DI2	DI1	DI0			
		BYTE 2	Motor Current in %								
		BYTE 3									
		BYTE 4	-	SelfTest Failed F010	Fault Signal F011	-	-	-	-	-	
	CNBR1:1:I.Data[9]	BYTE 5	Overload Fault	-	Communic Fault F003	Param Out of Range F004	-	-	-	-	
		BYTE 6	Motor Current High Threshold	Motor Current Low Threshold	-	Self Test Running	-	Self Test Running	Emerg. Start Prepared	-	
		BYTE 7	-	Fault on DI2 F024	Fault on DI1 F023	Fault on DI0 F022	Earth Fault	PTC Short Circuit F019	PTC Wire Break F018	PTC Temper. F017	

## 4.2 PROGRAMACIÓN DE SCRIPTS PARA EL SCADA

A continuación se muestra y se explica algunas de las pantallas principales elaboradas para el SCADA; luego se pasará a explicar los Scripts usados con mayor frecuencia durante todo el desarrollo del programa SCADA. Para el caso que se desee profundizar sobre este tema se deja una copia documentada del software desarrollado en la carpeta asociada al proyecto [24].

### Animación para movimiento del Molino SAG:

Por cada 1mseg hacer lo siguiente mientras el valor del Tag 310\_MLS\_001==1:

```
IF 310_MLS_001==1 AND THETA_HV_10050<=180 THEN
```

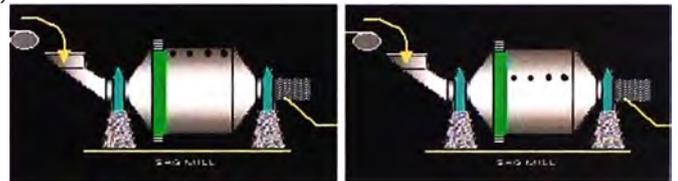
```
THETA_HV_10050 = 3 + THETA_HV_10050;
```

```
ELSE
```

```
THETA_HV_10050 = 0;
```

```
ENDIF;
```

“Actions, vertical move”



**Figura 4.3** Animación Molino

Cada punto del Molino se mueve de forma vertical

(fuente: HMI Intouch)

según:  $310\_MLS\_001 * (47 - 47 * \cos(THETA\_HV\_10050 + 270))$  {movimiento sinusoidal}

Se verá la imagen del molino SAG en movimiento.

### Scripts que gobiernan a las variables digitales:

El código en cuanto a la acción que se realiza en la pantalla SCADA al momento de dar un Touch o un clic sobre una señal del tipo digital es:

```
Show "Model_Trend_Hist_Digital";
```

```
HistTrendDigitalPenScale = 1;
```

```
HTPenNumber = 1;
```

```
HistTrendDigital.Pen1=317ZAH10050.TagID;
```

```
DIGIN_DESC.Name = 317ZAH10050_DESC.Name;
```

```
DIGIN_EN.Name = 317ZAH10050_EN.Name;
```

```
DIGIN_INFO.Name = 317ZAH10050_INFO.Name;
```

```
DIGIN_STS.Name = 317ZAH10050.Name;
```

```
DIGIN_TW.Name = 317ZAH10050_TW.Name;
```

Dependiendo si esta señal posee una acción tipo Trip (color rojo acción parar) o Warning (color naranja acción advertencia). Dicho color será manejado por el Tag “317ZAH10050 TW”

### Scripts que gobiernan a las variables analógicas:

El código en cuanto a la acción que se realiza en la pantalla SCADA al momento de dar un Touch o un clic sobre una señal de entrada del tipo analógica es:

Cada vez que Mensaje == "317FIT10050" u alguna otra variable analógica que se ejecute.

{"Mensaje" hace referencia a las variables analógicas controladas por el PLC Redundante, CSI}

{este script permite ver la tendencia de un valor analógico y lo muestra en el primer Pen1}

{primera mitad de todos los TAG analógicos controlados por el PLC Redundante}

{Limpieza de la asignación de TAG indirectos}

ANALOGIN\EU.Name = "";

ANALOGIN\INFO.Name = "";

ANALOGIN\DESC.Name = "";

ANALOGIN\SETH.Name = "";

ANALOGIN\SETHH.Name = "";

ANALOGIN\SETL.Name = "";

ANALOGIN\SETLL.Name = "";

ANALOGIN\HA.Name = "";

ANALOGIN\HHA.Name = "";

ANALOGIN\LA.Name = "";

ANALOGIN\LLA.Name = "";

ANALOGIN\MIN.Name = "";

ANALOGIN\MAX.Name = "";

ANALOGIN\TWH.Name = "";

ANALOGIN\TWHH.Name = "";

ANALOGIN\TWL.Name = "";

ANALOGIN\TWLL.Name = "";

ANALOGIN\ENH.Name = "";

ANALOGIN\ENHH.Name = "";

ANALOGIN\ENL.Name = "";

ANALOGIN\ENLL.Name = "";

ANALOGIN\COMM.Name = "";

ANALOGIN\FLT.Name = "";

ANALOGIN\ORNG.Name = "";

{Este script permite iniciar una ventana de trend con todos los Pens limpiados}

```

DIM result AS INTEGER;
result = WindowState("Model_Trend");
IF result==0 THEN
HistTrend.Pen1 = none;
HistTrend.Pen2 = none;
HistTrend.Pen3 = none;
HistTrend.Pen4 = none;
HistTrend.Pen5 = none;
HistTrend.Pen6 = none;
HistTrend.Pen7 = none;
HistTrend.Pen8 = none;
ENDIF;
{Asignación de TAG indirectos para los display analogicos controlados por el PLC
Redundante}
{mensaje = X;}
{EJEMPLO: mensaje = "W_TT1" + "???"}; {imaginemos que ??? = SETHH}
{los tag indirectos se transformaran en: REF_Direct.Name = "W_TT1_SETHH"}
{asignacion de TAG indirectos}
ANALOGIN\EU.Name = Mensaje + "_EU";
ANALOGIN\INFO.Name = Mensaje + "_INFO";
ANALOGIN\DESC.Name = Mensaje + "_DESC";
ANALOGIN\SETH.Name = Mensaje + "_SETH";
ANALOGIN\SETHH.Name = Mensaje + "_SETHH";
ANALOGIN\SETL.Name = Mensaje + "_SETL";
ANALOGIN\SETLL.Name = Mensaje + "_SETLL";
ANALOGIN\HA.Name = Mensaje + "_HA";
ANALOGIN\HHA.Name = Mensaje + "_HHA";
ANALOGIN\LA.Name = Mensaje + "_LA";
ANALOGIN\LLA.Name = Mensaje + "_LLA";
ANALOGIN\MIN.Name = Mensaje + "_MIN";
ANALOGIN\MAX.Name = Mensaje + "_MAX";
ANALOGIN\TWH.Name = Mensaje + "_TWH";
ANALOGIN\TWHH.Name = Mensaje + "_TWHH";

```

```

ANALOGIN\TWL.Name = Mensaje + "_TWL";
ANALOGIN\TWLL.Name = Mensaje + "_TWLL";
ANALOGIN\ENH.Name = Mensaje + "_ENH";
ANALOGIN\ENHH.Name = Mensaje + "_ENHH";
ANALOGIN\ENL.Name = Mensaje + "_ENL";
ANALOGIN\ENLL.Name = Mensaje + "_ENLL";
ANALOGIN\COMM.Name = Mensaje + "_COMM";
ANALOGIN\FLT.Name = Mensaje + "_FLT";
ANALOGIN\ORNG.Name = Mensaje + "_ORNG";
{ANALOGIN\EU.MaxEU = ANALOGIN\MAX;} {no se puede cambiar el Max y Min,
debe ser desde la Base de Datos}
{script relativo al gráfico de tendencia, coloca en el primer PEN el tag a utilizar}
HistTrendPenScale = 1; {Escala Visualizada a la Izquierda de HistTrend, ademas cambia
el color de la barra}
HTPenNumber = 1;{Permite realizar los calculos de promedio, maximo, minimo y valor
actual}
HistTrend.Pen1 = ANALOGIN\EU.TagID;
Num_Nodo = WindowState("P_TENDENCIAS"); {Num_Nodo es solo temporal}
IF Num_Nodo <> 1 THEN
Show "Model_Trend";
ENDIF;
Mensaje = ""; {limpia todos los comentarios en los interlock y demas tag indirectos que
no son usados}

```

### **Scripts que gobierna a los motores:**

El código elaborado en cuanto a la acción que se realiza en la pantalla SCADA al momento de dar un Touch o clic sobre un motor es:

Si motor=1 hacer lo siguiente cada 200 mili segundos

{Limpia la asignacion de los TAG Indirectos}

Direct\_EPIS0.Name = "RESERVA";

Direct\_EPIS1.Name = "RESERVA";

Direct\_EPIS2.Name = "RESERVA";

Direct\_EPIS3.Name = "RESERVA";

Direct\_EPIS4.Name = "RESERVA";

```

Direct_EPIS5.Name = "RESERVA";
Direct_EPIS6.Name = "RESERVA";
Direct_EPIS7.Name = "RESERVA";
Direct_EPIS8.Name = "RESERVA";
Direct_EPIS9.Name = "RESERVA";
Direct_EPIS10.Name = "RESERVA";
Direct_EPIS11.Name = "RESERVA";
Direct_EPIS12.Name = "RESERVA";
Direct_EPIS13.Name = "RESERVA";
Direct_EPIS14.Name = "RESERVA";
Direct_EPIS15.Name = "RESERVA";
Direct_EPIS16.Name = "RESERVA";
Direct_EPIS17.Name = "RESERVA";
Direct_EPIS18.Name = "RESERVA";
Direct_EPIS19.Name = "RESERVA";
Direct_EEIS0.Name = "RESERVA";
Direct_EEIS1.Name = "RESERVA";
Direct_EEIS2.Name = "RESERVA";
IF motor==11 THEN motor_name = "W_M2_1_"; ENDIF;
IF motor==12 THEN motor_name = "W_M2_2_"; ENDIF;
{Asignación de TAG indirectos para los 8 motores a controlar}
{motor = X;}
{EJEMPLO: motor_name = 317_CVB_031.Name}
{los tag indirectos se transformaran en: REF_Direct.Name=317_CVB_031_REF.Name}
Direct_REF.Name = motor_name + "REF";
Direct_RRC.Name = motor_name + "RRC";
Direct_RS.Name = motor_name + "RS";
Direct_RC.Name = motor_name + "RC";
Direct_LSP.Name = motor_name + "LSP";
Direct_STOP.Name = motor_name + "STOP";
Direct_RD.Name = motor_name + "RD";
Direct_STR.Name = motor_name + "STR";
Direct_STP.Name = motor_name + "STP";

```

```

Direct_RST.Name = motor_name + "RST";
Direct_DESC.Name = motor_name + "DESC";
Direct_HORN.Name = motor_name + "HORN";
Direct_RM.Name = motor_name + "RM";
Direct_FEEDBACK_PCTJ.Name = motor_name + "FEEDBACK";
Direct_SC.Name = motor_name + "SC";
Direct_EEI.Name = motor_name + "EEI";
Direct_EEIS0.Name = motor_name + "EEIS0";
Direct_EEIS1.Name = motor_name + "EEIS1";
Direct_EEIS2.Name = motor_name + "EEIS2";
Direct_EEIS3.Name = motor_name + "EEIS3";
Direct_EEIS4.Name = motor_name + "EEIS4";
Direct_EPI.Name = motor_name + "EPI";
Direct_EPIS0.Name = motor_name + "EPIS0";
Direct_EPIS1.Name = motor_name + "EPIS1";
Direct_EPIS2.Name = motor_name + "EPIS2";
{la misma sintaxis desde el EPIS2 hasta el EPIS17}
Direct_EPIS18.Name = motor_name + "EPIS18";
Direct_EPIS19.Name = motor_name + "EPIS19";
Direct_PERMS0.Name = motor_name + "PERMS0";
Direct_PERMS1.Name = motor_name + "PERMS1";
Direct_PERMS2.Name = motor_name + "PERMS2";
Direct_PERMS3.Name = motor_name + "PERMS3";
Direct_PERMS4.Name = motor_name + "PERMS4";
Direct_FORCE.Name = motor_name + "FORCE";
IF X == 1 THEN
Show "Model_Interlock";
ELSE
  IF motor == 2 OR motor == 6 THEN
    Show "Model_Variador";
  ENDIF;
  IF motor == 1 OR motor == 3 OR motor == 4 OR motor == 5 OR motor == 7 OR motor
  == 8 OR motor == 9 OR motor == 11 OR motor == 12 OR motor == 19 THEN

```

```
Show "Model MotorDirect";
ENDIF;
ENDIF;
X=0;
motor = 0; {limpiar nodo de motor}
{motor_name = "";} {limpia todos los comentarios en los interlock y demas tag indirectos
que no son usados}
```

Todos los scripts del proyecto podrán ser analizados a detalle al momento de entrar a la aplicación desarrollada que se encuentra en la carpeta asociada al proyecto.

### **4.3 SIMULACIÓN DEL PROCESO AUTOMATIZADO**

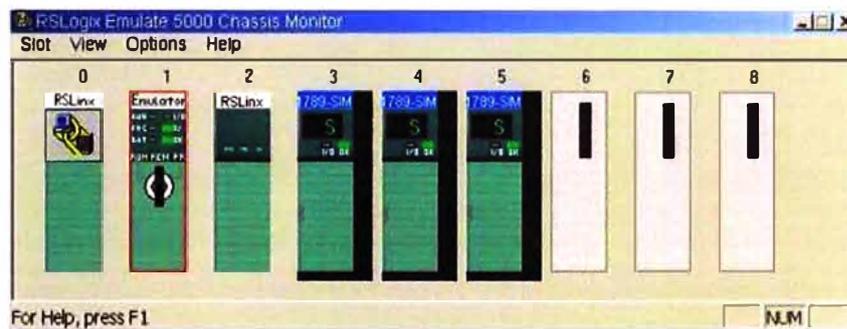
Para poder realizar la simulación a todo el proceso de Bypass al Molino SAG se necesitará lo siguiente:

- \* Rutina adicional de simulación en el software de programación RSLogix5000
- \* RSLogix Simulator para simular físicamente un controlador ControlLogix 5000
- \* Software de visualización SCADA INTOUCH con licencia temporal para edición y runtime.

La rutina adicional creada llamada “Simulación” será activada con un bit llamado “TestSimu” pese a que se intentará predecir algunas acciones que pueda tomar el proceso se debe sobre resaltar que hacer una simulación del comportamiento de la planta es complejo y para el caso de que se busque realizar un modelamiento de la planta; el elaborar dicha tarea sería mucho mas compleja. El objetivo de la rutina de simulación que se ha plasmado es la de permitir básicamente obtener confirmaciones frente a la acción de pulsar una botonera de campo o el botón del SCADA. Por ejemplo si deseamos encender el motor para la faja transportadora 317-CVB-031 podemos enviar dicha información mediante la botonera de campo o mediante el botón insertado en la pantalla correspondiente del SCADA. Luego de enviar nuestra solicitud y si se tiene al motor listo para funcionar (no presenta dependencias EPI, EEI ni PRMS) es necesario que el contactor principal de motor active un contacto auxiliar el cual nos permitirá confirmar que el motor se encuentra arrancado. Otra parte de la rutina de simulación se encargará de simular la cantidad de material que está pasando por la faja transportadora, para nuestro caso asumiremos que la cantidad del tonelaje por hora posee una dependencia lineal de la apertura de la compuerta alimentadora a la faja 317-CVB-031.

El RSLogix Simulator nos permitirá simular netamente al CPU por lo que el resto de IO de

entradas-salidas, tarjetas de comunicación Modbus RTU, DeviceNet y ControlNet no podrán ser simuladas pero a través de la rutina “Simulación” se intentará realizar los artificios necesarios para apreciar la información cercana que entregan los sensores cuando se encuentran conectados. Debido a que no se cuenta con el resto de tarjetas pero sí con el CPU podemos apreciar que existen LEDs indicadores de “status” los cuales nos permiten realizar un primer diagnóstico rápido y básico de lo que ocurre con nuestro controlador. Para el caso de nuestro CPU simulado se puede apreciar que posee falla en batería, LED intermitente color verde en IO debido a que no están las tarjetas de entradas-salidas conectadas.



**Figura 4.4** Simulador de CPU para probar lógica de control (fuente: Simulador Logix)

El software de visualización, animación SCADA Intouch no será modificado en nada. No se realizará cambio funcional alguno en los scripts o en los colores mostrados al momento de presentarse algún evento como el de una advertencia, falla u algún otro. El programa de visualización mostrado es idéntico al que en este momento se encuentra controlando la planta incluyendo sus diversas etapas “Bypass Molino SAG”. Cabe resaltar que el software SCADA Intouch y los controladores AB tienen una alianza para permitir el intercambio de información de manera eficaz y en tiempo real. Muchos procesos industriales en diversas industrias mineras, alimentos, bebidas, papeleras tienen como estándar automatizar sus procesos haciendo uso del hardware y software presentado en el actual informe ya que tienen una excelente reputación ganada.

#### **4.4 PRESUPUESTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN**

El tema de costos y flujo de caja no fue parte de los trabajos que me tocó realizar pero luego de la experiencia de algunos años sobre el tema de configuración y mantenimientos de controladores en la familia de AB se puede presentar el siguiente resumen de costos tanto por Hardware, Software y horas hombres de trabajo invertidos:

##### Costos en Hardware:

El Hardware adquirido correspondiente a la parte de controladores es el indicado en la

Figura 1.15, a nivel de instrumentación se ha mencionado los equipos que se usaron para el despliegue. El costo total de la obra por concepto de controladores e instrumentación fue de US \$ 350,000.00

#### Costos en Software:

Los software usados para la programación de los diversos protocolos de comunicación, programación de controladores y elaboración de las pantallas HMI son los siguientes:

RSLogix5000, RSNetwork for ControlNet, RSNetwork for DeviceNet, Prosoft Configuration Builder (gratis con la compra de Scanner Modbus RTU), Intouch Windows Maker 10.1, Intouch Runtime 3000 Tags, Monitor Drive (gratis con la adquisición de los variadores AB); todos los software suman un precio de US \$ 25,000.00

#### Horas hombres en servicios, configuración de controladores y SCADA:

Los costos referentes al desarrollo de planos de los gabinetes y la integración de los tableros eléctricos que poseen a los controladores y señales de la instrumentación de campo asciende a US \$ 20,000.00 mientras que el costo por las horas de programación de los controladores mas el desarrollo del sistema de visualización SCADA es de US \$ 70. Se debe tener en cuenta que el tiempo de horas aplicadas al proyecto fue de 1800 horas por lo que se tiene un monto de US \$ 126,000.00 con lo cual el monto total por servicios haciende a US \$ 146,000.00

La sumatoria de los costos en donde se tuvo participación directa son los descritos en las líneas superiores y haciende a US \$ 521,000.00. El costo total del proyecto incluyendo motores, chancadora Hidro-cono, zarandas vibratorias, zaranda húmeda, chutes, electroimán, montaje de equipos, horas hombres para cableado, obras civiles y demás tareas involucradas en el proyecto asciende a los US \$ 15,000,000.00 representando los costos de automatización un 3.35% del costo total de la obra.

Las horas involucradas en el proyecto implicaron 3 meses de preparación de los programas en la oficina de Lima y 4 meses de continuación del trabajo por motivos de pre comisionamiento, comisionamiento y puesta en marcha.

Es un objetivo del autor llevar pronto un curso del PMI a fin de poder gerencia y liderar proyectos de automatización. Antamina, Pluspetrol y otras grandes empresas trabajan sus proyectos bajo las bases del PMBok por lo que contar con una certificación PMP o CAPM para los profesionales en el área de automatización con miras de gestión.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es imposible imaginar en la actualidad, la existencia de una industria moderna sin un completo sistema de instrumentación y control. La medición de los distintos parámetros que intervienen en un proceso de fabricación o transformación industrial es básica para obtener un control directo sobre los productos y poder mejorar su calidad y competitividad. De este modo surge necesario, el conocimiento del funcionamiento de los instrumentos de medición y de control, y su papel dentro del proceso que intervienen, es básico para quienes desarrollan sus actividades profesionales dentro de este campo como lo es para el caso de un ingeniero de procesos, instrumentistas, el jefe u operador del proceso, el proyectista en automatización, el estudiante recién graduado.

El informe está orientado a las personas involucradas en el mundo de la automatización; en los distintos capítulos de manera práctica y ordenada, sin profundizar en aspectos matemáticos, se trata de los mecanismos y etapas necesarias para la derivación al molino más importante en Antamina. En el informe se han revisado las definiciones de control, automatización y se ha intentado transmitir las ideas bases de acuerdo a estándares mundiales bajo diversas normas emitidas por la ISA y la IEC.

El proyecto detallado en el presente informe de suficiencia se puede concluir en lo siguiente:

OPCIÓN 5 fue desarrollado durante el año 2009-2010 con la idea de procesar 3000T/Hr siempre y cuando el Molino SAG se encuentre detenido por alguna falla eléctrica, mecánica u alguna otra que lo mantenga en estado detenido. Opción 5 mantiene un nivel aceptable en la producción de los minerales, debido a su versatilidad y correcto funcionamiento durante las pruebas iniciales se comprobó que OPCION5 puede trabajar en paralelo o simultaneo con el Molino Semi Autógeno de modo que se puede aumentar significativamente el mineral tratado pese a que el proyecto nace con la idea de funcionar solo durante el tiempo de parada inesperadas. Son partes muy importantes de este proyecto las fajas transportadoras 31, 32 y 33 (las cuales poseen motores de alta capacidad para

poder mover las 3000T/Hr planificadas), la chancadora Hidro-cono, 2 zarandas secas tipo banana y 1 zaranda húmeda. Todo el proceso de Bypass al molino SAG consiste en reducir el tamaño del mineral de acuerdo a la granulometría requerida en la etapa de molienda con bolas mientras que el mineral no fino sobrante de la etapa de chancado vuelve al circuito de Pebbles para ser nuevamente triturado.

Antes de la implementación del proyecto de derivación al Molino Semi Autógeno, se tenía una producción de 5000 toneladas por hora, por lo que podemos inferir que luego del desarrollo del proyecto se tuvo un incremento en la producción de 60% para determinados tipos de materiales ya que existen materiales más rígidos que otros dependiendo de la campaña en producción.

Gracias a su sencillez y amigable entorno de control gráfico se mantiene la misma cantidad de operadores para el manejo de la infraestructura actual y la nueva produciendo un incremento en la productividad de la minera.

Los trabajos de coordinación para las diversas obras civiles, montaje de equipamiento como fajas, motores, etc y los trabajos del desarrollo de control para los controladores fueron elaborados acorde a los estándares de Antamina en los tiempos previstos de acuerdo a la ingeniería de detalle e incluso mejorando la funcionabilidad según diálogo entre programador con operador de planta o ingenieros de sala de control. Los resultados obtenidos fueron mucho mejor de lo planeado, pudiendo llegarse a depurar algunos pequeños puntos que serán mencionados a continuación pese a este ligero inconveniente se cataloga al proyecto como un verdadero éxito a nivel funcional y operativo.

Algunas de las recomendaciones que podría resaltar como mejora acerca del proyecto son las indicadas a continuación:

Desarrollar una secuencia de arranque remoto automática. Durante el periodo de pruebas se observó que los motores arrancaban secuencialmente sin problemas y que si respetamos los tiempos de retraso y los permisivos antes del encendido de cada uno de los motores no debería existir dificultad en elaborar una rutina adicional dentro de la tarea continua de modo que se pueda tener la secuencia de encendido automático desde la sala de control para todo el sistema de Bypass. Elaborar dicha rutina ahorraría unos 10 minutos de coordinación que el operador del SCADA debe realizar comparado cuando realiza el arranque remoto en forma manual.

Elaboración de una matriz causa-efecto o también llamada matriz ESD (Emergency Shut

Down). Esta matriz muestra que efectos tiene el mal funcionamiento o falla de un instrumento o si dicho instrumento manda alarma o trip y los efectos que tiene este para con sus equipos alrededor, para con el área y finalmente el área para con la planta. En consecuencia nos indica el nivel de impacto en toda la planta, llegando a generar un ESD1, ESD2, ESD3 o ESD4 dependiendo de los niveles de seguridad que requiere la planta. Actualmente Camisea y Transportadora de gas del Perú usan constantemente este tipo de matrices y su elaboración requiere un profundo análisis “Hazard” u otros métodos usados por ingenieros especialistas en proceso industriales como el “What if”; el personal que se especializa en realizar este tipo de estudios debe conocer a la perfección la norma IEC 61508 y ser certificado TÜV y ser de preferencia certificado [13].

Usar los Scripts del tipo Quick Functions; de este modo podemos realizar animaciones y visualización de información de manera más óptima, rápida y con menor código.

Tener en cuenta que el desarrollo de las pantallas SCADA puede mejorarse si seguimos algunas recomendaciones de ergonomía. Tomar esta iniciativa nos aseguraría un menor esfuerzo y cansancio en el ojo del operador para monitorear las diversas etapas de la planta

[14].

**ANEXO A**

**GLOSARIO DE TÉRMINOS**

Bismuto: Elemento metálico, Bi, de número atómico 83 y peso atómico 208.980, pertenece al grupo V de la tabla periódica. Es el elemento más metálico en este grupo, tanto en propiedades físicas como químicas. El único isótopo estable es el de masa 209. Se estima que la corteza terrestre contiene cerca de 0.00002% de bismuto. Existe en la naturaleza como metal libre y en minerales. Los principales depósitos están en Sudamérica, pero también se obtiene dicho elemento como subproducto del refinado de los minerales de cobre-plomo.

Chancadora Hidro-cono: Estructura metálica con motor de eje vertical capaz de chancar todo mineral con un diámetro menor al de 100mm.

CIP: Common Industrial Protocol, protocolo industrial común normado y estandarizado por la ODVA. Es usado en el desarrollo de los protocolos Ethernet IP, ControlNet y DeviceNet.

CIM: Computer Integrated Manufacturing o Manufacturación Integrada por Computadora basadas en la ISA95 y en la IEC62264-12,3

EEl: Bloqueo de Equipos por condición Externa, ejemplo si se apaga un motor aguas abajo se debe apagar el motor aguas arriba para protección de la infraestructura.

EMI: Interferencias Electro Magnéticas.

EPI: Bloqueo de Equipos por protección Eléctrica, ejemplo si se activa una alarma de temperatura alta en un motor se manda una señal lógica para apagar el motor involucrado.

ERP: Enterprise Resourcing Planing, es el nivel superior de la pirámide de automatización; permite a la gerencia conocer los niveles de venta y producción en la planta.

Ethernet IP: Ethernet Industria Protocolo, es un protocolo de comunicación industrial desarrollado por Rockwell Automation y gestionado, supervisado por la ODVA. No confundir IP por "Internet Protocol".

Fortaulic: Empresa que provee infraestructura para procesos mineros. Para el proyecto se encargó del Tripper.

GMI: Graña Montaro Ingeniería, empresa encargada de realizar los estudios iniciales del proyecto Bypass Opción 5.

IEC: Comisión de Electrónica Internacional, define normas, estándares mundiales para procesos industriales.

ISA: Sociedad Internacional de Automatización, define estándares mundiales para procesos industriales.

LAN: Red de área local

Ludowici: Empresa que provee infraestructura para procesos mineros. Para el proyecto se encargo de las zarandas secas y vibratorias.

MES: Sistema de ejecución de manufactura, permite dirigir y monitorizar los procesos en planta.

MESA: Asociación de Soluciones para Empresas Manufactureras.

Molino SAG: Molino Semi Autógeno que se usa para la molienda de diferentes tipos de minerales como oro, plata, cobre y hierro. Suelen ubicarse antes de los molinos de bola aunque también trabajan sin ellos. En general el mineral que se recibe directamente desde la etapa de chancado primario, con un tamaño cercano a 8 pulgadas (20 centímetros), se mezcla con agua y cal. En otros casos el molino contiene bolas de acero que al girar las bolas son lanzadas en caída libre logrando un efecto en conjunto de chancado y molienda. El material molido pasa luego a la etapa de flotación ya que posee una baja granulometría, requerida bajo los 180 micrones, y una pequeña proporción es enviada a molino de bolas. Este tipo de molinos fragmenta al mineral por medio del mismo material y por medio de bolas metálicas que se agregan en su interior. Por otro lado los molinos autógenos son aquellos que fragmentan el mineral con esfuerzo del propio material en su interior.

NIST: National Institute of Standard and Technology, es una agencia Norte Americana no regulatoria que brinda algunas recomendaciones para procesos industriales.

Pebbles: Tipo especial de roca que posee un tamaño aproximado entre 4 y 64 mm, comúnmente es considerada de mayor tamaño que los gránulos, los cuales poseen dimensiones entre 2 y 4mm como diámetro.

PMS: Significa permisivos, son condiciones necesarias que deben cumplirse en una etapa del proceso antes de continuar con la activación de los motores.

PMI: Project Management Institute, instituto de manejo de proyectos. Permite definir procesos, planeamiento y estándares a seguir en todo tipo de proyecto a ejecutarse.

Sandvik: Empresa que provee infraestructura para procesos mineros. Para el proyecto se encargo de la Chancadora Hidrocono.

Tripper estacionario: Conjunto de compuertas que permiten el paso de un determinado producto en forma proporcional o en forma todo o nada. Trabaja en coordinación constante con la etapa de “feeders” o alimentadores de mineral.

WAN: Red de área extensa, es una red gigante que se extiende sobre un área metropolitana

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Instrumentación Industrial de Antonio Creus (8<sup>o</sup>va edición). Evolución de la instrumentación.
- [2] ANSI/ISA-95.00.01 Copyright © 2006 ISA. Used with permission. Niveles de seguridad en plantas.
- [3] ISA-95 Manufacturing Enterprise Systems Standards CD, Second Edition
- [4] Normas para programación de PLC IEC 61131-3 [1] Education\_and\_Training1.htm
- [5] Dick Morley looks back on the 40th anniversary of the PLC
- [6] Ogatha, Sistemas de control en tiempo discreto
- [7] Ogatha, Sistemas de control en tiempo continuo
- [8] [http://www.isa.org/Content/NavigationMenu/Products\\_and\\_Services/Education](http://www.isa.org/Content/NavigationMenu/Products_and_Services/Education)
- [9] Norma ISA-5.3-1983 Graphic symbols for distributed. Control/Shared Display instrumentation, Logic a computer system.
- [10] <http://grouper.ieee.org/groups/754/>
- [11] [http://www.iec.ch/about/mediatech/videos/you\\_and\\_iec.htm](http://www.iec.ch/about/mediatech/videos/you_and_iec.htm)
- [12] <http://www.odva.org/Home/tabid/53/lng/en-US/Default.aspx>
- [13] [http://www.tuv.com/ar/seguridad\\_funcional.html](http://www.tuv.com/ar/seguridad_funcional.html)
- [14] <http://www8.hp.com/us/en/hp-information/ergo/index.html>
- [15] [http://www.rockwellautomation.com/support/americas/index\\_es.html](http://www.rockwellautomation.com/support/americas/index_es.html)
- [16] [http://en.wikipedia.org/wiki/Automation&Process\\_control](http://en.wikipedia.org/wiki/Automation&Process_control)
- [17] [http://en.wikipedia.org/wiki/IEC\\_62264](http://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62264)
- [18] <http://automatizacion.bligoo.com/content/view/279137/DCS-o-PLC.html>
- [19] <http://accessscience.com/content/Computer-integrated-manufacturing/153925>
- [20] <http://atinachile.bligoo.com>
- [21] [info.sea@siemens.com](mailto:info.sea@siemens.com)
- [22] <http://www.gmisa.com.pe/> Graña y Montero Ingeniería
- [23] <http://www.antamina.com/en/index.php> minera Antamina
- [24] <http://global.wonderware.com/EN/Pages/default.aspx> Software Intouch stand alone