

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(CREADA POR LEY N° 25265)



FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE ELECTRÓNICA

TESIS

**“MEJORA DE ARQUITECTURA DE CONTROL
ZONA CHANCADO DE LA MINERA MARSA
AURIFERA UNIDAD RETAMA**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:
BACH. ING. LEONEL BELITO HUAIRA
BACH. ING. JHONY ANGEL CHAMORRO VILLANUEVA

PAMPAS - 2014



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
 (Creada por Ley N° 25265)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas, a los 12 días del mes de Agosto del año 2014, a horas 15:10, se reunieron; el Jurado Calificador, conformado de la siguiente manera:

Presidente: Mg. Ing. Angel Almidón Escano

Secretario: Ing. Janeth Bertha Marín Arroya

Vocal: Mg. Ing. Everth Manuel Ramos Lapa

Designados con Resolución N° 252-2014-FIES-UNH; del: proyecto de investigación (Tesis), Titulado: "Mejora de Arquitectura de Control Zona Chancado de la Mina Marsa Aurifera Unidad Refino"

Cuyos autores son los graduado (s):

BACHILLER (S): Leonel Belito Huayta
Jhony Angel Chamorro Villanueva

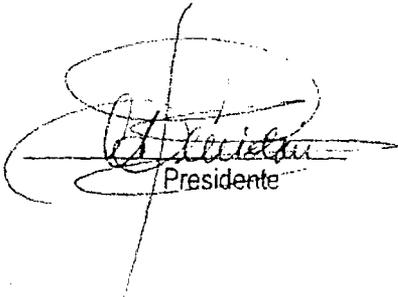
A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del proyecto de investigación, antes citado.

Finalizado la evaluación; se invito al público presente y a los sustentantes a abandonar el recinto; y, luego de una amplia deliberación por parte del jurado, se llegó al siguiente el resultado:

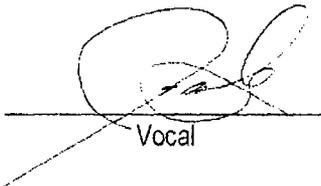
APROBADO POR mayoría

DESAPROBADO

En conformidad a lo actuado firmamos al pie:


 Presidente


 Secretario


 Vocal

A nuestra querida familia por su apoyo incondicional en nuestra formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarnos la oportunidad de realizarnos como persona y como profesional.

Al Ing. Javier Herrera Morales, por habernos dado la asesoría y el apoyo necesario para la presente tesis.

A los docentes de la Escuela Académico Profesional de Electrónica de la Facultad de Ingeniería Electrónica-Sistemas de la Universidad Nacional de Huancavelica.

A nuestros padres, quienes nos apoyaron incondicionalmente a lo largo de este camino lleno de alegrías y dificultades.

A la Empresa VIJCSA y MARSA por facilitarnos la información y acceso a los ambientes necesarios para la realización de la presente tesis.

ÍNDICE

Página

ÍNDICE iv

ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
RESUMEN.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4.1. Justificación teórica.....	4
1.4.2. Justificación tecnológica.....	4
1.4.3. Justificación económica.....	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. ANTECEDENTES.....	5
2.2. BASES TEÓRICAS.....	8
2.2.1. Descripción general de un PLC.....	8
2.2.2. Programación de un PLC.....	10
2.2.3. La estructura básica de cualquier autómata programable.....	10
2.2.4. Comunicaciones lógicas de un PLC.....	13
2.2.5. CPU del PLC "ControlLogix Allen Bradley".....	16
2.2.6. Comunicación de Redes industriales.....	19
2.2.7. Módulos de redundancia ControlLogix.....	33

- 2.2.8. Red de E/S remotas (RIO) universales..... 35
- 2.2.9. FLEX Ex I/O..... 36
- 2.2.10. Equipos industriales de campo etapa de chancado..... 38
- 2.2.11. Chancadora Secundaria de Cono..... 39
- 2.2.12. Arrancadores en estado Sólido y Relé electrónico. 40
- 2.2.13. Automatización. 41
- 2.2.14. Plataforma de supervisión y control. 42
- 2.2.15. Equipos principales para el control y supervisión. 43
- 2.2.16. Programación de un PLC e In Touch de WonderWare..... 48
- 2.2.17. Comunicaciones lógicas de un PLC planta de chancado "Marsa" 50
- 2.2.18. Centro de control de motores..... 51
- 2.2.19. Requerimientos generales de Instrumentación..... 52
- 2.2.20. Descripción del funcionamiento de la zona chancado de mineral de la
 minera MARSAS..... 54
- 2.3. HIPÓTESIS..... 83
 - 2.3.1. Hipótesis general 83
 - 2.3.2. Hipótesis específica..... 83
- 2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS..... 83
 - 2.4.1. Arquitectura de control:..... 83
 - 2.4.2. Producción de chancado de mineral:..... 84
 - 2.4.3. Identificación de fallas para un mantenimiento en tiempo real:..... 84
 - 2.4.4. Control Lógico Programable "PLCs": 85
- 2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES..... 86
 - 2.5.1. Variables independientes..... 86
 - 2.5.2. Variables dependientes 86
- 2.6. DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES 87
- CAPÍTULO III..... 88
- METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... 88
 - 3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO..... 88
 - 3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN..... 88
 - 3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN..... 89

3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN..... 89

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN..... 90

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 91

 3.6.1. Población..... 92

 3.6.2. Muestra..... 93

 3.6.3. Muestreo..... 101

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 101

3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... 102

 3.8.1. Modos de control 102

3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS..... 105

3.10. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS..... 106

CAPÍTULO IV 107

RESULTADOS 107

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 107

 4.1.1. Algoritmo para el diseño y la implementación de la arquitectura de control
 de la zona chancado, con redes industriales redundantes 107

 4.1.2. Diseño e implementación de la arquitectura de control de la zona chancado
 con redes industriales redundantes 112

 4.1.3. Resultados de la producción de chancado de mineral..... 121

 4.1.4. Resultados de la identificación y ubicación de fallas en tiempo real 123

4.2. DISCUSIÓN..... 128

 4.2.1. Prueba de hipótesis específica 1 128

 4.2.2. Prueba de hipótesis específica 2 132

CONCLUSIONES..... 151

RECOMENDACIONES..... 152

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 153

ARTÍCULO CIENTÍFICO 155

ANEXOS..... 162

ANEXO 1: Programa de la arquitectura de control basado en redes Industriales. 165

ANEXO 2: Planos de P&ID de planta de chancado MARSÁ 175

ANEXO 3: Planos de diagrama unifilares..... 179

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1. PLC ControlLogix Allen Bradley.....	9
Figura 2.2. Fuente de poder 1756 ControlLogix.....	11
Figura 2.3. Slot de entradas salidas del ControlLogix.....	13
Figura 2.4. Slot de comunicación.....	16
Figura 2.5. CPU del ControlLogix serie L75 tipo Slot.....	17
Figura 2.6. Avances Tecnológicos – comunicación.....	19
Figura 2.7. Ejemplo de una red DeviceNet.....	21
Figura 2.8. El modelo OSI de los objetos del CIP.....	23
Figura 2.9. Topologías posibles con la red DeviceNet.....	26
Figura 2.10. Tipos de cables para la red DeviceNet.....	28
Figura 2.11. Vista frontal de cables DeviceNet.....	29
Figura 2.12. Conectores de la red DeviceNet.....	30
Figura 2.13. Resistores de terminación.....	31
Figura 2.14. Módulos de ControlNet para PLC.....	33
Figura 2.15. Módulos de Redundancia para ControlLogix.....	34
Figura 2.16. Módulos de RIO para ControlLogix.....	35
Figura 2.17. Módulos de RIO para ControlLogix.....	37
Figura 2.18. Chancadora terciaria y Secundaria CH-660.....	39
Figura 2.19. Arrancador de Estado Sólido Soft Starter.....	41
Figura 2.20. Supervisor de procesos y control.....	43
Figura 2.21. Controlador Allen Bradley Instalado.....	44
Figura 2.22. Arquitectura industrial de Allen Bradley.....	45
Figura 2.23. Botonera de campo para arranque Local.....	46
Figura 2.24. Interface Hombre Maquina HMI.....	46
Figura 2.25. Tablero Remoto con módulo Flex I/O.....	47
Figura 2.26. LIO y módulos de comunicación y redundancia.....	48
Figura 2.27. Plataforma InTouch de WonderWare.....	49
Figura 2.28. FactoryTalkView diagnóstico de dispositivos.....	50
Figura 2.29. Tableros de comunicación.....	51
Figura 2.30. Centro de control de motores.....	52
Figura 2.31. Histórico de Alarmas.....	85

Figura 3.1. Método de experimental.....	90
Figura 3.2. Pantalla de la plataforma FactoryTalkView.....	92
Figura 4.1. Configuración del RsLinx escaneo de equipos en la red.....	112
Figura 4.2. Adición de nuevo driver Ethernet.....	113
Figura 4.3. Detección de equipos en Red.....	113
Figura 4.4. Identificación de equipos en Ethernet con RSLinx.....	114
Figura 4.5. Creación de un nuevo programa en el RSLogix 5000 y configurando los módulos de entradas y salidas.....	115
Figura 4.6. Programación en línea con el PLC real conectado.....	115
Figura 4.7. Inicio de la programación del SCADA en Factory Talk View.....	116
Figura 4.8. Creación del Face Plate en Factory Talk View.....	117
Figura 4.9. Enlace de objetos a tag de control de motores.....	117
Figura 4.10. Tag de control de motores en diferentes pantallas.....	118
Figura 4.11. Ejecución de las pantallas creadas para el SCADA.....	118
Figura 4.12. Configuración de la pantalla de inicio del sistema SCADA.....	119
Figura 4.13. Pantalla Principal del SCADA.....	119
Figura 4.14. Pantalla de Interface de los botones de arranque Scada.....	120
Figura 4.15. Pantalla unidad hidráulica y CH-660.....	120
Figura 4.16. Sistema SCADA general en funcionamiento Deterido.....	121
Figura 4.17. Producción de chancado de mineral con y sin la arquitectura de control basado en redes industriales.....	123
Figura 4.18. Muestra de t crítico para la prueba T de Student.....	129
Figura 4.19. Aumento de producción de chancado de mineral con el sistema de control instalado.....	130
Figura 4.20. Ubicación de "t1" calculado en la región de rechazo.....	131
Figura 4.21. Prueba de t-Student.....	133
Figura 4.21. Ubicación de t , ubicada en RR.....	149

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1. Comparación de controladores estándar ControlLogix, modelos.	18
Tabla 2.2. Comparación de controladores estándar ControlLogix.	27
Tabla 2.3. Configuración de los hilos de cables de acuerdos a los colores.	29
Tabla 2.4. Descripción de la red ControlNet.	32
Tabla 2.5. Operacionalización de las variables.	87
Tabla 3.1. Comparación de la producción: con el sistema implementado y sin el sistema.	95
Tabla 3.2. Datos tomados de fallas sin la arquitectura de control.	96
Tabla 4.1. Producción de chancado de mineral (Fuente: Elaborado por el investigador.	122
Tabla 4.2. Promedio de horas trabajadas, horas paradas, fallas eléctricas y mecánicas sin la arquitectura de control implementada.	124
Tabla 4.3. Promedio de horas trabajadas, horas paradas, fallas eléctricas y mecánicas.	126
Tabla 4.4. Porcentaje de producción de mineral chancado por semana sin la arquitectura de control implementado y con la arquitectura de control implementado.	129
Tabla 4.5. Horas trabajadas, horas paradas y fallas eléctricas y mecánicas en la planta chancada sin la implementación de la arquitectura.	134
Tabla 4.6. Horas trabajadas, horas paradas y fallas eléctricas y mecánicas en la planta chancada con la implementación de la arquitectura.	138
Tabla 4.7. Promedio de horas trabajadas, horas paradas y fallas eléctricas y mecánicas.	142
Tabla 4.8. Resumen de promedio de horas trabajadas, horas paradas y fallas eléctricas y mecánicas.	144
Tabla 4.9. Resumen de de la estadística descriptiva de horas paradas.	144
Tabla 4.10. Promedio de horas trabajadas, horas paradas y fallas eléctricas y mecánicas.	145
Tabla 4.11. Resumen de promedio de horas trabajadas, horas paradas y fallas eléctricas y mecánicas.	147
Tabla 4.12. Resumen de la estadística descriptiva de horas paradas.	147
Tabla 4.12. Resumen de promedios y desviación estándar de horas trabajadas, horas paradas y fallas eléctricas y mecánicas.	148

RESUMEN

El estudio realizado corresponde a una investigación de carácter cuantitativo teniendo como problema que originó la investigación: ¿Cuál es la influencia de la implementación de arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, en la mejora de la producción de chancado de mineral, y la recuperación de tiempo con la identificación y ubicación de fallas en tiempo real en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSÁ?, para solucionar el problema se planteó el siguiente objetivo: Determinar la influencia de la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, en la mejora de producción de chancado de mineral, y la recuperación de tiempo con la identificación y ubicación de fallas en tiempo real en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSÁ. La hipótesis planteada como solución al problema fue: La implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, mejora la producción de chancado de mineral y permite recuperar el tiempo con la ubicación e identificación de fallas en tiempo real, en la unidad Retama de la mina MARSÁ. El tipo de investigación a la que pertenece esta investigación es aplicada, con un nivel explicativo y el diseño de investigación es experimental de dos grupos, el método de investigación utilizado fue el experimental. Para la medición de la producción e identificación de fallas en tiempo real se tomaron datos históricos de catorce semanas para el grupo de control y grupo experimental, para la prueba de hipótesis se ha considerado el uso de la estadística inferencial de la T de Student de los datos obtenidos con la finalidad de tener mayor rigurosidad en la prueba de la hipótesis. Se ha demostrado con un nivel de significancia del 5%, que con la implementación de la arquitectura de control basado en la red industrial redundante, se tiene un incremento de la producción de chancado de mineral de 3,193.21429 toneladas que representa el 8.1460 %, también se ha demostrado que con la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, se recupera 13.8286 horas de producción semanal, que representa el 8.59 %, al identificar y ubicar las fallas en tiempo real.

Palabras claves: Arquitectura de control basado en red industrial redundante, identificación de fallas, incremento de producción de chancado de mineral.

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de la investigación, en su etapa de formulación del problema y la demostración de la hipótesis, se ha llegado a demostrar que con la implementación de la nueva arquitectura de control basado en redes industriales y arrancadores electrónicos, basado en controladores lógicos programables de la marca Allen Bradley CPU serie L6-L7, y la implementación del programa RSLogix 5000, los PLC nos permite mejorar la producción del chancado del mineral en 8.1460 %, así mismo se demostró que la identificación de fallas, programación en línea, corrección de fallas en tiempo real, permite la recuperación de tiempo muerto en 8.59 % con respecto al sistema sin la arquitectura de control para la Planta Chancado de Empresa Minera MARSÁ en la unidad Retama, Ubicada en el departamento de Trujillo, así mismo para la mejor comprensión del informe se describen todos los subsistemas involucrados en el proceso, así como también las variables operacionales que manejan dichos subsistemas. Luego se procedió a definir la filosofía de operación que permitió mejorar el control, al sistema antiguo con que la planta operará de manera eficiente.

Se instaló la arquitectura para la buena operación con un sistema de supervisión y control asociado a la planta. Finalmente se estableció los requerimientos de equipos e instrumentos necesarios para respaldar la implantación de la arquitectura de sistema de supervisión y control de la planta expuesta anteriormente; del mismo modo se procedió a la identificación de los puntos problemáticos donde se encontrara lo siguiente: ausencia de un sistema de control automatizado que permita supervisar las actividades operacionales de la planta así como también de Controladores Lógicos Programables (PLC); la falta de instrumentos que permita garantizar el buen funcionamiento en un proceso de transferencia de mineral para el proceso y en un bajo costo en ejecución del proyecto en recurso de cables, identificar registrar las horas muertas por fallas del sistema actual.

El informe está estructurado en cuatro capítulos de acuerdo al siguiente detalle:

El Capítulo I, trata sobre el problema de investigación; en donde se visualiza el planteamiento y formulación del problema, la justificación, los respectivos objetivos de investigación, seguido de la justificación e importancia.

El Capítulo II, describe el marco teórico conceptual de la investigación; donde se aprecia primero los antecedentes y luego la información teórica relevante sobre las variables de estudio, sustentado en teorías y bibliografía actualizada y finalmente los definición de términos básicos utilizados en la investigación, seguido de la hipótesis y el sistema de variables.

El Capítulo III, da el marco metodológico, en el cual se detalla el tipo, nivel método y diseño de investigación, además de las técnicas de recolección de datos y el procesamiento de información.

El Capítulo IV, muestra los resultados; donde se detalla los pormenores del análisis y procesamiento de la información tanto del pre test como del post test, seguido de la prueba de hipótesis.

Al final se complementa con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas según el estilo Vancouver, y los respectivos anexos del presente trabajo de investigación.

Los autores.

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La arquitectura de control que cuenta la planta Marsa es con señales discretas que funciona en lógica cableada y los motores con arranque directo y contactos secos para enclavamiento. La presencia de una arquitectura de control inadecuado por lógica cableada, hace que el sistema caiga en cualquier momento haciendo perder tiempo de producción y pérdidas económicas a la empresa, así mismo el sistema es insuficiente en la detección de puntos de fallas. Se puso en operación el sistema de la zona de chancado de manera automática. Creando una interfaz HMI y workstations, por el cual se diseña una nueva arquitectura que tenga, todo una plataforma de redes industriales entre los cuales comunicación Device Net, PLC, MCC, los instrumentos de Campo por Módulos Remotas Input y output "RIOs" para lograr la mayor eficiencia, productividad y seguridad de este sistema.

Para ello se abordaron diferentes técnicas como la revisión bibliográfica, la investigación de campo, el diagrama PI&D, control lógico de los PLC, entre otros; así como la utilización de diferentes recursos entre los cuales se pueden mencionar los workstations como estaciones supervisoras, software de aplicación en el área industrial, software de supervisión y control, complementando con los diferentes tipos de instrumentos que permitirán el mejor control envió y recepción de datos de campo y sala eléctrica con el objetivo de poder ampliar el sistema a DCS, los cuales permitirán lograr los objetivos propuestos y una ampliación a futura. Con este trabajo se pretende llegar hasta la ejecución del proyecto. Esta debe ser sometida a normas y estándares. Todos los instrumentos y equipos deberán ser diseñados, fabricados, probados e instalados según conforme a la última edición de los siguientes códigos y estándares donde sea aplicable.

- ISO International Standards Organization.
- ANSI American National Standards Institute.

FM	Factory Mutual Research Corporation.
ISA	Instrument Society of America.
NEC	National Electrical Code.
NEMA	National Electrical Manufacturer's Association.
NFPA	National Fire Protection Association.
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers.
IEC	International Electromechanical Commission.
OSHA	Occupational Safety and Health Administration.
UL	Underwriter's Laboratories.
OIML	Organization of International Metrology.
RNC	Reglamento Nacional de Construcción.
NOSA	National Occupation Safety Association.
ASTM	American Society for Testing & Materials.
ASME	American Society of Mechanical Engineers.
CNE	Código Nacional de Electricidad (Utilización 2006).
CNE	Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011).
RNE	Reglamento Nacional de Edificaciones.
NTP	Norma Técnica Peruana
NETA	National Electrical Testing Associatio

Funcionamiento del proceso industriales aplicados, especialmente en la zona de chancado Minera Marsa Unidad Retamas de una forma efectiva y eficiente.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

- ¿Cuál es la influencia de la implementación de arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, en la optimización de la producción de chancado de mineral, y la recuperación de tiempo con la identificación y ubicación de fallas en tiempo real en el área de chancado de la unidad Retama de la mina MARSAS?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿En cuánto mejora la producción de chancado de mineral con la implementación de la arquitectura de control, basado en red industrial redundante, en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSAS?
- ¿Qué porcentaje de tiempo de producción se recupera al identificar y ubicar las fallas en tiempo real, con la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSAS?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Determinar la influencia de la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, en la mejora de producción de chancado de mineral, y la recuperación de tiempo con la identificación y ubicación de fallas en tiempo real en el área de chancado de la unidad Retama de la mina MARSAS.

1.3.2. Objetivos específicos

- Cuantificar la mejora de la producción de chancado de mineral con la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, en el área de chancado de la unidad Retama de la mina MARSAS.
- Determinar el porcentaje de tiempo de producción que se recupera al identificar y ubicar las fallas en tiempo real con la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, en el área de chancado de la unidad Retama de la mina MARSAS.

1.4 JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Justificación teórica

El diseño teórico y la implementación de la arquitectura de control para la planta chancado de mineral de la unidad Retama, permitió ser un antecedente de las nuevas arquitecturas a implementarse para futuros sistemas de control.

1.4.2. Justificación tecnológica

El proceso de automatización se justifica tecnológicamente por hacer uso de una arquitectura con tecnología avanzada que ayudó a reducir fallas e identificar los problemas sucedidos de paradas indebidas de la planta y la planificación adecuada de mantenimiento; ya que se aplicó equipos de programación y control de última generación por redes industriales.

1.4.3. Justificación económica

La arquitectura de control para la Minera Marsa unidad Retama, tiene un costo total de \$ 456,294.160 que fue afectado por el proyecto para la ampliación de su producción de mineral, el cual es recuperable en aproximadamente 01 año de producción.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

- a) **Chillcce Aquino Víctor Manuel, Rojas Amaro Roger Hernán.** “Implementación del Sistema Experto en Molinos para Optimizar la Molienda del Circuito de Cobre en la Planta Concentradora de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.” [Tesis para optar el título profesional de ingeniero metalurgista y de materiales]. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2012¹.

En la tesis, lograron concluir que mediante la instalación y la puesta en marcha el Sistema Experto de molinos fue posible mejorar la molienda de esta manera tener un grado óptimo de liberación de minerales de Cu, así mismo con el control por Sistema Experto de molinos permitido alcanzar una mayor capacidad de tratamiento de mineral, además El sistema experto de molinos es capaz de resolver situaciones complejas en la operación de acuerdo a su programación.

- b) **Olarte Silva Leidy, Rodríguez Delgado Alfonso.** “Diseño e implementación del sistema SCADA Factory Talk View de Allen Bradley a una máquina prototipo de embalaje en el laboratorio de automatización de procesos de la Universidad Pontificia Bolivariana”. [Tesis para optar el Título en Ingeniería Electrónica]. Colombia, 2011.

La implementación del sistema SCADA con el Software Factory Talk View de Allen Bradley para la máquina prototipo de embalaje implicó la evaluación de la

¹ Hallado en la URL: <http://cip.org.pe/imagenes/temp/tesis/41249817.pdf>, visitado el 15 de noviembre de 2013.

instrumentación asociada al proceso y de su estructura mecánica; a través de las cuales se establecieron los módulos del sistema SCADA apropiados para la aplicación, así como la estrategia de control y el diseño de la interfaz adecuado para la HMI, con la que se garantiza que el operario tenga una clara visión de las características y el avance del proceso de embalaje. A su vez se realizó la evaluación del sistema de control de la arquitectura Rockwell Automation instalado en el Laboratorio de Automatización con la plataforma ControlLogix, a la cual está conectada la instrumentación asociada a las variables de la máquina de embalaje, y con la que se establece la comunicación con el sistema de supervisión a través del software RsLogix 5000, RsLinx y Factory Talk².

- c) **Gonzalo Andrés Pérez Espinoza, Nelson Edgardo Sandoval Nova.** “Estudio de reemplazo del sistema de E/S del PLC línea final 3 celulosa Arauco y Constitución S.A., planta Arauco”. [Tesis para optar el grado de Ingeniero de Ejecución en Electrónica]. Universidad del Bio-Bio Facultad de Ingeniería Chile, 2008.

Celulosa Arauco y Constitución S.A planta Arauco, en busca de mejoras para el rendimiento y nuevas tecnológicas en el proceso de embalaje de la celulosa en sus líneas finales, ha tomado en consideración realizar un estudio sobre el reemplazo y/o reducción de tarjetas de entrada y salida del tipo PLC2 de Allen Bradley.

La justificación se basa en mejorar la “confiabilidad y disponibilidad del sistema”, es decir, en el corto plazo disminuirán los costos de mantención del sistema, ya que se reducirán los tiempos perdidos por fallas, lo que se traduce a continuidad de la producción y, valga la redundancia, mayor producción³.

² Hallado en la URL: <http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/handle/123456789/1290>, visitado el 16 de noviembre de 2013.

³ Hallado en la URL: http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2008/perez_g/doc/perez_g.pdf, visitado el 16 de noviembre de 2013.

- d) **Manuel Alejandro Ospina Alarcón. “Diseño de un sistema de control multivariable para un circuito de molienda en húmedo”. [Tesis para optar el grado de Magister en Ingeniería de Materiales y Procesos]. Universidad Nacional de Colombia, 2009.**

Con la demostración en simulación con Matlab del modelo matemático de la planta de molienda de cementos Nare del Grupo Argos, se logra controlar a una entrada escalón del modelo, en el proceso de molienda, lográndose mejorar la producción de 6.5 ton/h a su máxima capacidad de diseño que está en 12 ton/h; se usó el control multivariable PID.⁴

- e) **William Mesías Morocho Romero, José Luis Montalvo García. “Diseño e implementación de un sistema SCADA para control del proceso de un módulo didáctico de montajes Festo utilizando PLC y una pantalla HMI, caso práctico: en el laboratorio de automatización de la FIE”. [Tesis para optar el título ingeniero en control y automatización]. Escuela superior politécnica de Chimborazo Riobamba Ecuador, 2011.**

En un sistema automático se busca principalmente aumentar la eficiencia del proceso incrementando la velocidad, la calidad y la precisión, y disminuyendo los riesgos que normalmente se tendría en la tarea si fuese realizada en forma manual por un operador.

Los automatismos están compuesto por tres partes principales, como son la obtención de señales por parte de los sensores, el procesamiento de dichas señales hecho por los procesadores inteligentes y la ejecución de respuesta efectuadas por los actuadores.

Todo el proceso se desarrolla en un ambiente de acceso remoto, desde diferentes estaciones de monitoreo, ya que el presente módulo es didáctico⁵.

⁴ Hallado en la URL: www.bdigital.unal.edu.co/850/1/71265598_2009.pdf , visitado el 16 de noviembre de 2013.

⁵ Hallado en la URL: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1329/1/108T0006.pdf>. Visitado el 16 de noviembre de 2013.

- f) Francisco Toro G., Norman Rojas C. *Automatización de Planta de Chancado a través de Sistema Experto [Trabajo de investigación], Universidad de Atacama, Chile, 2005.*⁶

Con la automatización a través de sistemas expertos se logra las siguientes características: Las eficientes comunicaciones bajo redes PROFIBUS y la capacidad gráfica de representación de la marcha del proceso en el sistema supervisor WINCC, entrega al operador una mejor visión del proceso. La magnitud de los beneficios conseguidos depende del producto final obtenido (granulometría), los lazos de control alimentan cada sección del chancado secundario con 800 toneladas/hrs, pasando por las chancadoras terciarios 300 ton/hrs, esto implica un funcionamiento a cámara llena y a potencia óptima de la chancadora. Otro beneficio que se obtiene al operar las diferentes plantas en forma estabilizada y sin tiempos muertos es un incremento en el tratamiento de alrededor de 4,3 % de aumento en el tratamiento.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1. Descripción general de un PLC.⁷

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas.

Los PLCs son utilizados en muchas industrias y máquinas. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada, salida y comunicaciones, para trabajar en

⁶ Hallado en la URL: www.industriaynegocios.cl/.../trabajos/vespertino%202005/Control%20E Visitado el 16 de noviembre de 2013.

⁷ Hallado en la URL: <http://www.ab.com/es/epub/catalogs/3377539/5866177/5985760/6388285/7757299/Introducci-n.html> Visitado el 16 de noviembre de 2013.

lugares extremas como rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías copia de seguridad o en memorias no volátiles. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real duro donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, que de lo contrario no producirá el resultado deseado. [1]

Historia⁸

Su historia se remonta a finales de la década de 1960 , cuando la industria buscó en las nuevas tecnologías electrónicas una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relés, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinatorial discreta.

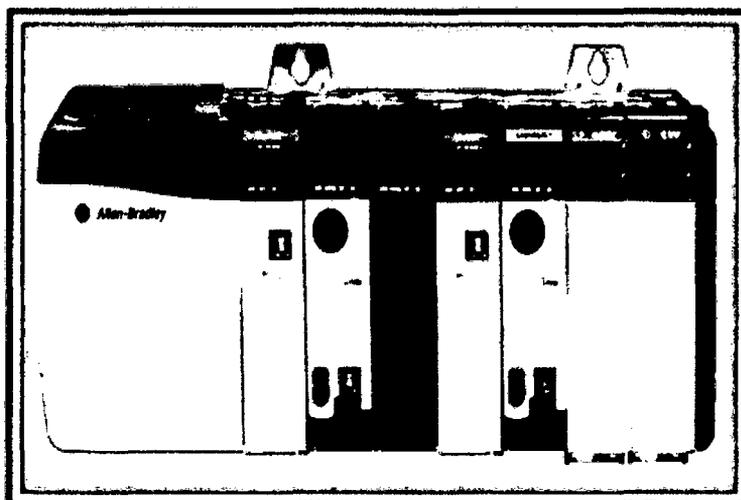


Figura 2.1. PLC ControlLogix Allen Bradley (Fuente: <http://ab.rockwellautomation.com/programmable-controllers/controllogix>.)

En 1968 GM Hydramatic (la división de transmisión automática de General Motors) emitió una solicitud de propuestas para un reemplazo electrónico

⁸ Historia de los PLCs: URL [www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/ApuntesPLC.pdf] visitado el 15 de noviembre de 2013.

de los sistemas cableados de relés. La propuesta ganadora vino de Bedford Associates. El resultado fue el primer PLC, designado 084 porque era el proyecto de Bedford Associates N° 84 [2]. Bedford Associates comenzó una nueva empresa dedicada al desarrollo, fabricación, venta y mantenimiento de este nuevo producto: Modicon (Modular Digital Controller). Una de las personas que trabajaron en ese proyecto fue Dick Morley, quien es considerado como el "padre" del PLC. La marca Modicon fue vendida en 1977 a Gould Electronics, y posteriormente adquirida por la compañía alemana AEG y luego por la francesa Schneider Electric, el actual propietario. Por su parte Allen Bradley desarrolla los PLCs ControlLogix, ver figura 2.1.

2.2.2. Programación de un PLC⁹

Los primeros PLC fueron diseñados para reemplazar los sistemas de relés lógicos. Estos PLC fueron programados en "Lenguaje Ladder", que se parece mucho a un diagrama esquemático de la lógica de relés. Este sistema fue elegido para reducir las demandas de formación de los técnicos existentes. Otros autómatas primarios utilizaron un formulario de listas de instrucciones de programación.

Los PLCs modernos pueden ser programados de diversas maneras, desde la lógica de escalera de relés, a los lenguajes de programación tales como dialectos especialmente adaptados de BASIC y C. Otro método es la lógica de estado, un lenguaje de programación de alto nivel diseñado para programar PLCs basados en diagramas de estado.

2.2.3. La estructura básica de cualquier autómata programable

A. Fuente de alimentación:

Convierte la tensión de la red, 110 ó 220V AC a baja tensión de cc para él la fuente utilizada es la fuentes de alimentación eléctrica Boletín 1756

⁹ Programación de PLC. URL [<http://www.ab.com/es/epub/catalogs/3377539/5866177/5985760/6388285/6388303/Modulos-Guard-I-O.html>] visitado el 15 de noviembre de 2013.

ControlLogix con el chasis ControlLogix 1756 para proporcionar alimentación eléctrica de 1.2, 3.3, 5 y 24 VCC directamente al backplane del chasis. Estas fuentes de alimentación eléctrica están disponibles en modelos estándar, redundantes y de entorno extremo. Que es la que se utiliza como tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forma el autómata CPU: la Unidad Central de Procesos es el auténtico cerebro del sistema. Es el encargado de recibir órdenes del operario a través de la consola de programación y el módulo de entradas. Después las procesa para enviar respuestas al módulo de salidas¹⁰.

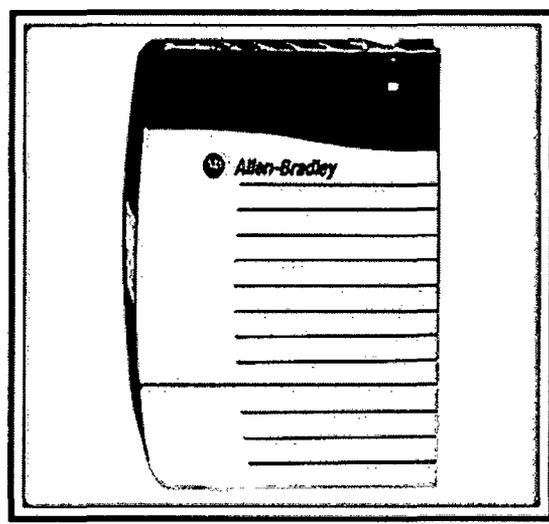


Figura 2.2 Fuente de poder 1756 ControlLogix (Fuente: <http://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/ControlLogix-Power-Supplies>).

B. Módulo de entradas:

Los módulos de E/S ControlLogix Boletín 1756 proporcionan un rango completo de E/S digitales, digitales de diagnóstico, analógicas, de control de movimiento y especiales para satisfacer las necesidades de su aplicación. Puede usar cualquiera de los módulos de E/S en el

¹⁰ Fuente de alimentación: URL [<http://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/ControlLogix-Power-Supplies>] visitado el 15 de noviembre de 2013.

chasis local de un controlador ControlLogix o en un chasis vinculado a un controlador ControlLogix en redes ControlNet o Ethernet/IP.¹¹

- Aumente la capacidad de producción y minimice los tiempos de respuesta del sistema con los nuevos módulos de E/S:

Las últimas novedades de la familia de E/S ControlLogix entregan mejoras importantes de rendimiento. Al usarlos en conjunto, estos tres nuevos dispositivos de E/S de alta velocidad proporcionan control de E/S de puerto a puerto con velocidades de tomillo a tomillo nominales de menos de 100 μ S, independiente del controlador.

- Módulos de entrada rápida de 24 VCC 1756-IB16IF.
 - Reconoce transiciones de entrada en menos de 25 μ S.
 - Proporciona marca de tiempo de sincronización CIP por punto con una precisión de $\pm 4 \mu$ S.
 - Ofrece coincidencias de patrones de entrada para entregar más flexibilidad a la hora de activar tareas de eventos.
 - Captura pulsos de entrada tan bajos como 10 μ S.
- Módulos de salida rápida de 24 VCC 1756-OB16IEF
 - Responde a comandos de transición del sistema en menos de 25 μ S.
 - Proporciona duraciones configurables para comportamiento de salida de modo de fallo.
 - Ofrece anchura de impulso de modulación integrado por punto.
- Contador de baja velocidad de 24 VCC 1756-LSC8xIB8I
 - Proporciona ocho contadores de 40 KHz como solución económica para aplicaciones que requieren varios contadores.

¹¹ Programación ControlLogix URL [<http://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers/ControlLogix>] visitado el 15 de noviembre de 2013.

- Regresa conteos acumulados promedios y frecuencias instantáneas y anchura de impulso.
- Proporciona 8 entradas aisladas para uso general o para funciones de control de contador.
- Incluye 2 ventanas de salida que puede definir en cualquier frecuencia o conteo.

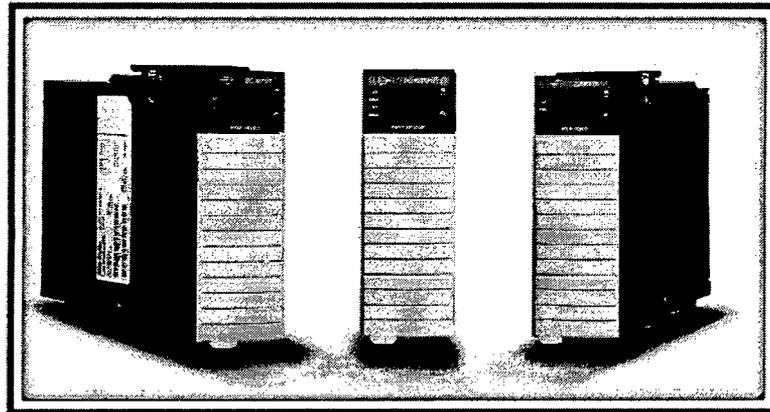


Figura 2.3. Slot de entradas salidas del ControlLogix (Fuente: <http://ab.rockwellautomation.com/IO/Chassis-Based/1756-ControlLogix-IO>).

2.2.4. Comunicaciones lógicas de un PLC¹²

Los módulos de comunicación ControlLogix admiten redes Ethernet/IP, ControlNet, DeviceNet, Data Highway Plus, E/S remotas, Foundation Fieldbus, en serie, DH-485 y SynchLink. Establezca una interface mediante módulos de comunicación ControlLogix a través de ControlLogix Gateway (sin un controlador en el chasis del gateway) o hágalo directamente a un controlador ControlLogix. Los módulos de comunicación de ambientes difíciles ControlLogix están disponibles para redes Ethernet/IP, ControlNet, Data Highway Plus y E/S remotas. [2]

Características:

¹² Comunicación lógicas de un PLC. URL <http://www.ab.com/es/epub/catalogs/3377539/5866177/5985760/6388285/7757299/Diagrama-de-flujo-de-selecci-n-de-L-gica-de-seguridad.html> visitado el 15 de noviembre de 2013.

Varios módulos de comunicación en un solo backplane ControlLogix pueden puentear o encaminar datos entre distintas redes.

Productos:

A. Interfaces de comunicación 1756 Ethernet/IP:

- 128 conexiones Logix (1756-ENBT y 1756-EWEB) o 256 conexiones Logix (todos los demás módulos).
- Tecnología con switch integrado (1756-EN2TR, 1756-EN3TR y 1756-EN2TRXT).
- Soporte de ambientes difíciles mediante módulos de comunicación ControlLogix-XT (1756-EN2TXT y 1756-EN2TRXT).
- Conectividad segura desde el sistema de control a los niveles de sistemas más altos, terminales de programación y otros controladores ControlLogix usando el módulo de comunicaciones seguras (1756-EN2TSC).

B. Interfaces de comunicación 1756 DeviceNet:

- Admite 64 nodos.

C. Interfaces de comunicación 1756 ControlNet:

- 64 conexiones Logix (1756-CNB y 1756-CNBR) o 128 conexiones Logix (todos los demás módulos)
- Admite 99 nodos.
- Admite medios físicos redundantes (1756-CN2R, 1756-CNBR y 1756-CN2RXT).
- Soporte de ambientes difíciles mediante módulo de comunicación ControlLogix-XT (1756-CN2RXT).

D. Interfaces de comunicación 1756 Data Highway Plus y de E/S remotas:

- 32 conexiones Logix (1756-DHRIO y 1756-DHRIOXT).
- El módulo Data Highway Plus y de E/S remotas (1756-DHRIO) admite mensajería entre dispositivos en la red DH+.
- El módulo de E/S remotas (1756-RIO) actúa como escáner o adaptador en una red de E/S remotas.
- Soporte de ambientes difíciles mediante módulo de comunicación ControlLogix-XT (1756-DHRIOXT).

E. Dispositivos de vínculo 1757 FOUNDATION Fieldbus:

- Puentea desde una red Ethernet o una red ControlNet.
- 16 dispositivos por vínculo H1 (se recomiendan de 8 a 10 dispositivos).
- 32 dispositivos (1757-FFLD2 y 1757-FFLDC2) o 64 dispositivos (1757-FFLD4 y 1757-FFLDC4) por dispositivo de vínculo.

F. Interfaces de comunicación 1756 DH-485:

- Función a través del puerto serie en el controlador ControlLogix.
- Programación y monitoreo remotos mediante el ambiente Studio 5000.

G. Interfaces de comunicación 1756 SynchLink

- Sincronización de tiempo y difusión de datos para control de movimiento distribuido y variador coordinado.
- Mueve una cantidad limitada de datos de un chasis a otro a alta velocidad.
- Permite que un controlador consuma datos de ejes de movimiento desde un controlador en otro chasis.

Certificaciones:

- Todos los módulos: c-UL-us, CE, CSA, C-Tick, FM, ATEX, TÜV

- Módulos EtherNet/IP: ODVA-EtherNet/IP
- Módulos DeviceNet: ODVA
- Módulos ControlNet: CI
- Módulos FOUNDATION Fieldbus: FF

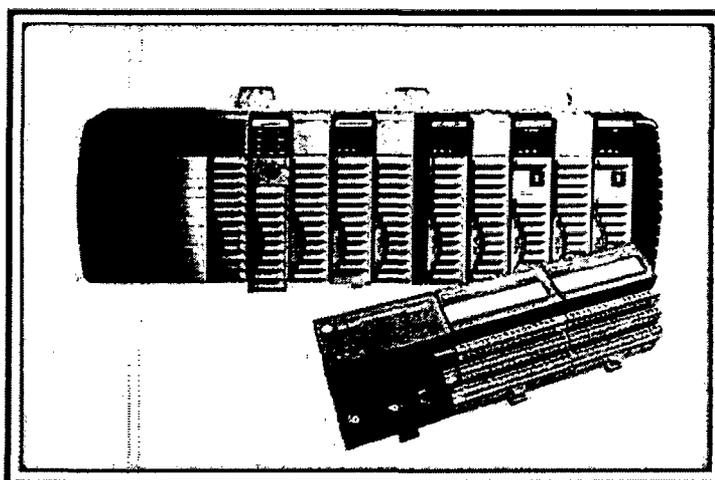


Figura 24. Slot de comunicación (Fuente: <http://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/ControlLogix-Communications>).

2.2.5. CPU del PLC "ControlLogix Allen Bradley".

Los controladores estándar ControlLogix 1756 son ideales para aplicaciones de proceso, movimiento, discretas y de alta disponibilidad. Como parte del sistema de Integrated Architecture de Rockwell Automation, estos controladores usan el software de programación RSLogix 5000 (modelos L6), el ambiente Studio 5000™ (modelos L7) y protocolos de red comunes. Ofrecen capacidades de información común. Estos controladores de alto rendimiento proporcionan un motor de control común con un ambiente de desarrollo común para todas las disciplinas de control. Considere estos controladores para máquinas más sofisticadas y para la conectividad con sistemas de negocios¹³.

¹³ PLC Allen Bradley. URL [www.ab.com/es/epub/catalogs/12768/229240]. Visitado el 13 de noviembre de 2013.

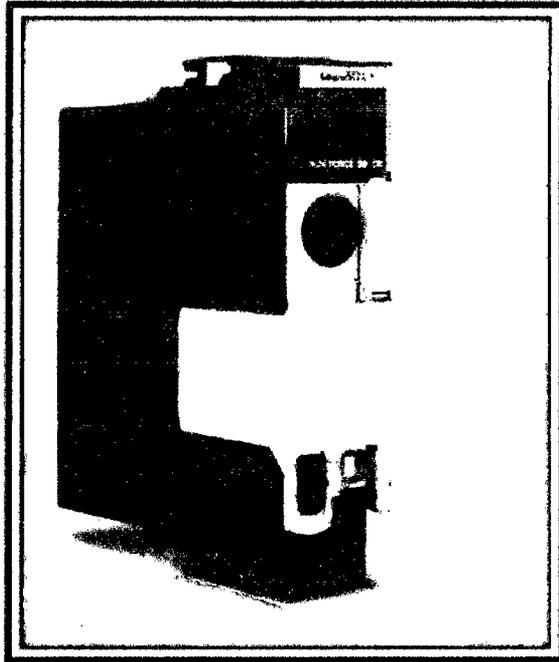


Figura 2.5. CPU del ControlLogix serie L75 tipo Slot (Fuente: <http://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/ControlLogix-Standard-Controllers>)

Características:

- Proporciona el doble de velocidad de procesamiento en los modelos L7 al compararlos con los modelos L6.
- Admite movimiento integrado en Ethernet/IP, el movimiento Secos integrado y el movimiento analógico.
- Admite redundancia completa de los controladores.
- Admite la desconexión y reconexión con la alimentación conectada (RIUP).
- Se comunica a través de Ethernet/IP, ControlNet™, DeviceNet, Data Highway Plus, E/S remotas, SynchLink y muchas redes de procesos y dispositivos de otros fabricantes.
- Le permite programar usando lógica de escalera de relé, texto estructurado, bloque de funciones y lenguajes SFC.

- Ofrece opciones flexibles de memoria de usuario.
- **Productos:**
 - Controladores Estándar 1756 ControlLogix®, modelos L7 y L6

Tabla 2.1. Comparación de controladores estándar ControlLogix, modelos.

Característica	Modelos L7	Modelos L6
Capacidad de rendimiento	El doble de rendimiento de los modelos L6	Alto
Máx. conexiones de controladores	500	250
Puerto incorporado	USB	Serie
Módulo de almacenamiento de energía (ESM) incluido	Sí	No
Requiere batería	No	Sí
Pantalla incorporada incluida	Sí	No
Se admite en el entorno de Studio 5000™	Sí	No
Memoria no volátil	Tarjeta digital segura	Tarjeta CompactFlash
Máx. memoria de usuario	32 MB	32 MB
Puntos de E/S máx.	128,000 digitales; 4,000 analógicos	128,000 digitales; 4,000 analógicos
Integración de módulos de E/S	E/S ControlLogix 1756	E/S ControlLogix 1756

Fuente: <http://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/ControlLogix-Standard-Controllers>.

Certificaciones:

- Controladores estándar ControlLogix, modelos L7: c-UL-us, CE, C-Tick, ATEX, KC, FM
- Controladores estándar ControlLogix, modelos L6: c-UL-us, CSA, CE, C-Tick, ATEX, KC.

2.2.6. Comunicación de Redes industriales.

A. Comunicación DeviceNet.¹⁴

Es una red digital, multi-punto para conexión entre sensores, actuadores y sistemas de automatización industrial en general. Esta tecnología fue desarrollada para tener máxima flexibilidad entre los equipos de campo e interoperabilidad entre diferentes fabricantes. Introducido originalmente en 1994 por Allen-Bradley, DeviceNet transfirió su tecnología a ODVA en 1995. La ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) es una organización sin fines de lucro compuesta por centros de empresas alrededor del mundo que mantiene, difunde y promueve la tecnología DeviceNet y otras redes basadas en el protocolo CIP (common Industrial Protocolo). Actualmente más de 300 empresas están registradas como miembros, y 800 más ofrecen productos DeviceNet de todo el mundo. La red DeviceNet está clasificada en el nivel de red llamada devicebus, cuyas características principales son: alta velocidad, comunicación a nivel de byte que incluye comunicación con equipos discretos y analógicos y el alto poder de diagnóstico de los dispositivos de la red. Ver figura 2.6.

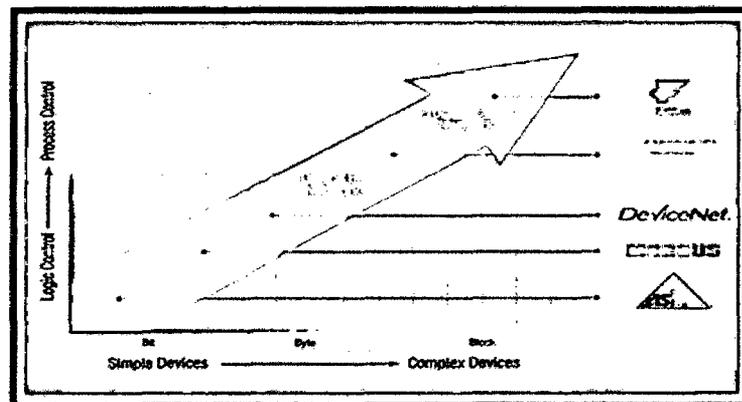


Figura 2.6. Avances Tecnológicos – comunicación (Fuente: <http://www.smar.com/espanol/devicenet.asp>).

¹⁴ Comunicación DeviceNet: URL [<http://ab.rockwellautomation.com/es/networks-and-communications/devicenet-network>]. Visitado el 13 de noviembre de 2013.

La tecnología DeviceNet es un estándar abierto de automatización con el objetivo de transportar 2 tipos principales de información:

Datos cíclicos de sensores y actuadores, directamente relacionados al control y Datos no cíclicos indirectamente relacionados al control, como configuración y diagnóstico. Los datos cíclicos representan la información intercambiada periódicamente entre el equipo de campo y el controlador. Por otro lado, los no cíclicos son informaciones intercambiadas eventualmente durante la configuración o diagnóstico del equipo de campo.

La capa física y de acceso a la red DeviceNet está basada en la tecnología CAN (Controller Area Network) y las capas superiores en el protocolo CIP, que define una arquitectura basada en objetos y conexiones entre ellos.

El CAN fue originalmente desarrollado por la BOSCH para el mercado de automóviles Europeos para sustituir el cableado costoso por un cable en red de bajo costo en automóviles. Como resultado, el CAN tiene respuesta rápida y confiabilidad alta para aplicaciones principalmente en las áreas automovilística. Una red DeviceNet puede tener hasta 64 dispositivos donde cada dispositivo ocupa un nodo en la red, direccionados de 0 a 63. Cualquier de ellos puede ser utilizado. No hay ninguna restricción para el uso de ellos, aunque el uso de los 63 no es recomendable, ya que se utiliza para la puesta en marcha.

como que tengan su propia fuente.

- Uso de conectores abiertos o cerrados.
- Protección contra conexión inversa y corto-circuito.
- Alta capacidad de corriente en la red (hasta 16 A).
- Usa la misma energía de la fuente de alimentación.
- Varias fuentes pueden ser usadas en la misma red para satisfacer las necesidades de la aplicación en términos de carga y la longitud de los cables.
- Velocidad de comunicación seleccionable: de 125,250 y 500 kbps.
- Comunicación basada en conexiones de E/S y modelo de pregunta y respuesta.
- Diagnóstico de cada equipo y de la red.
- Transporte eficiente de datos de control discretos y analógicos.
- Detección de direccionamiento duplicado en la red.
- Mecanismo de comunicación extremadamente robusto para interferencias electromagnéticas.

b) Protocolo DeviceNet:

DeviceNet es una de las tres tecnologías de redes abiertas y estandarizadas, cuya capa de aplicación usa el CIP (Common Application Layer – Capa de Aplicación Común). Al lado de ControlNet y Ethernet/IP, posee una estructura común de objetos. Es decir, es independiente del medio físico y de la capa de enlace de datos. Esta capa es una capa de aplicación estándar, integrada a interfaces de hardware y software abiertas, constituye una plataforma de conexión universal entre componentes en un sistema de automatización, desde la fábrica hasta el nivel de internet. La Figura 1.2 muestra una arquitectura del CIP dentro del modelo OSI.

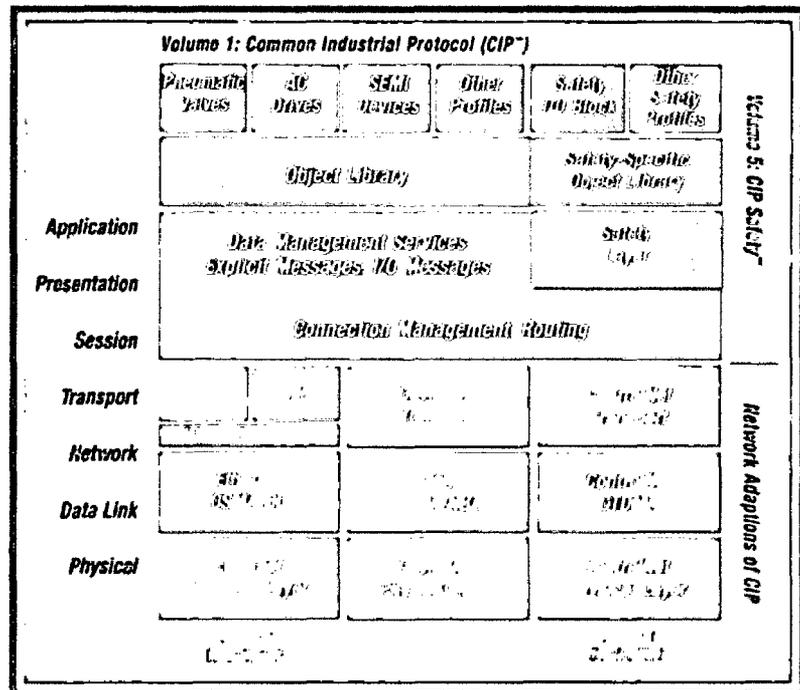


Figura 2.8. El modelo OSI de los objetos del CIP (Fuente: <http://www.smar.com/espanol/devicenet.asp>).

c) Modos de Comunicación¹⁵

El protocolo DeviceNet tiene dos tipos básicos de mensajes, mensaje cíclico I/O y explícito. Cada uno de ellos es adecuado a un determinado tipo de dato, conforme se describe abajo:

- **Cíclico I/O:** tipo de telegrama síncrono dedicado al procesamiento de datos prioritarios entre un productor y uno o más consumidores. Se dividen de acuerdo con el método de intercambio de datos. Los principales son:
- **Polled:** método de comunicación en que el maestro envía un telegrama a cada uno de su lista de esclavos (scan list). Así mismo, en cuanto reciba la solicitud, el esclavo responde rápidamente a la solicitud del maestro. Este

¹⁵ Nodos de comunicación: URL [<http://notasdeautomatizacion.blogspot.com/2012/03/unas-notas-sobre-redes-devicenet.html>]. Visitado el 13 de noviembre de 2013.

proceso es repetido hasta que todos sean consultados, reiniciando el ciclo.

- **Bit-strobe:** método de comunicación donde el maestro envía un telegrama por la red con 8 bytes de datos. Cada bit de estos 8 bytes representa un esclavo que, se direcciona y responde de acuerdo con lo programado.
- **Cambio de Estado:** método de comunicación donde el intercambio de datos entre el maestro y esclavo que ocurre cuando hubo cambios en los valores monitoreados/controlados, hasta un cierto límite de tiempo. Cuando este límite es alcanzado, la transmisión y recepción ocurren, incluso sin alteraciones. La configuración de esta variable de tiempo es hecha en el programa de configuración de la red.
- **Cíclico:** otro método de comunicación muy semejante al anterior. La única diferencia está en la producción y consumo de mensajes. En este tipo, todo el intercambio de datos ocurre en intervalos regulares de tiempo, independiente de ser alterados o no. Este periodo también es ajustado en el software de configuración de la red.
- **Mensaje Explícito:** tipo de telegrama de uso general y no prioritario. Utilizado principalmente en tareas asíncronas tales como parametrización y configuración del equipo.

d) Archivo de Configuración

Todo nodo DeviceNet tiene un archivo de configuración asociado, llamado EDS (Electronic Data Sheet). Este archivo contiene informaciones importantes sobre el funcionamiento del dispositivo y debe ser registrado en el software de configuración de la red. Para el cual todo los serie de CPU como los CompacLogix y el Control Logix.

e) Capa Física y Medio de Transmisión

DeviceNet usa una topología de red del tipo bus principal/derivación que permite que tanto para el cableado de la señal como el de la alimentación estén presentes en el mismo cable. Esta alimentación, es suministrada por una fuente conectada directamente en la red, y posee las siguientes características:

- 24Vdc.
- Salida DC aislada de la entrada AC;
- Capacidad de corriente compatible con los equipos instalados.
- El tamaño total de la red varía de acuerdo con la velocidad de transmisión (125,250, 500Kbps)

f) Topología de la red¹⁶

Las especificaciones de DeviceNet definen la topología y los componentes admisibles como PLC, HMI, y sus tipos de modos de cada equipo involucrado. La variedad de topologías posibles se muestra en la figura 2.9.

¹⁶ Topología de la red: URL [<http://elj0na.files.wordpress.com/2011/10/curso-redes-control-device-net.pdf>]. Visitado el 13 de noviembre de 2013.

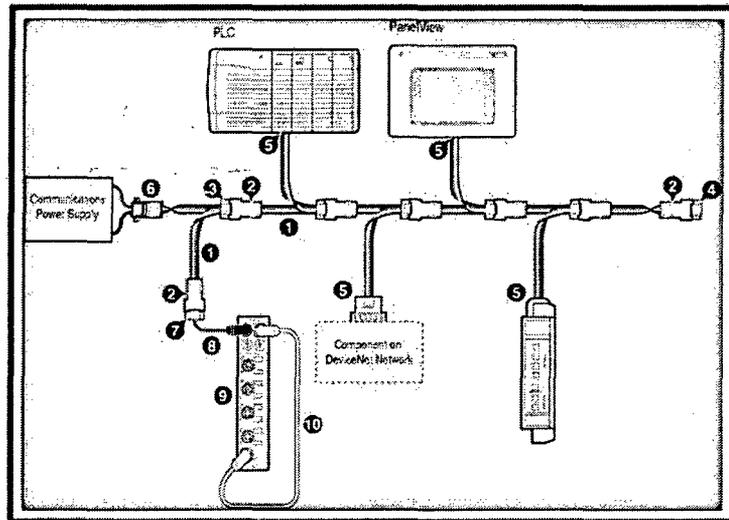


Figura 2.9. Topologías posibles con la red DeviceNet (Fuente: <http://www.smar.com/espanol/devicenet.asp>).

La especificación también trata del sistema de aterramiento, mezcla entre el cable grueso y delgado (thick y thin), Terminadores y energía de alimentación.

La topología básica con derivación Principal ("trunkline-dropline") utiliza 1 cable (2 pares trenzados separados para alimentación y señal). El cable grueso (thick) o delgado (thin) puede ser usado para líneas principales o verticales. La distancia entre los extremos de la red varía con la velocidad de datos y la longitud del cable y el tipo de equipo que está involucrado para el cual se toma toda las consideraciones y en caso de que hay un saturación en la información se opta por insertar más módulos o slot para no tener el tráfico de información durante el proceso que se implementó.

Tabla 2.2 Comparación de controladores estándar ControlLogix.

VELOCIDAD DE DATOS	125 Kbps	250 Kbps	500 Kbps
Longitud del Bus principal con cable grueso ("thick-trunk")	500 m	250 m	100 m
Longitud del Bus principal con cable delgado ("thin-trunk")	100 m	100 m	100 m
Longitud máxima para 1 derivación del bus principal ("maximum-drop")	6 m	6 m	6 m
Longitud de las derivaciones. Agregadas al bus principal ("cumulative-drop").	156 m	78 m	39 m

Fuente: <http://www.smar.com/espanol/devicenet.asp>.

g) Cables

Hay 4 tipos de cables estandarizados: el grueso, mediano, delgado y plano. El más común o usado es el cable grueso para el bus y el cable fino para las derivaciones. Para las troncales se utiliza de preferencia de mayo grueso por el tema del amperaje.

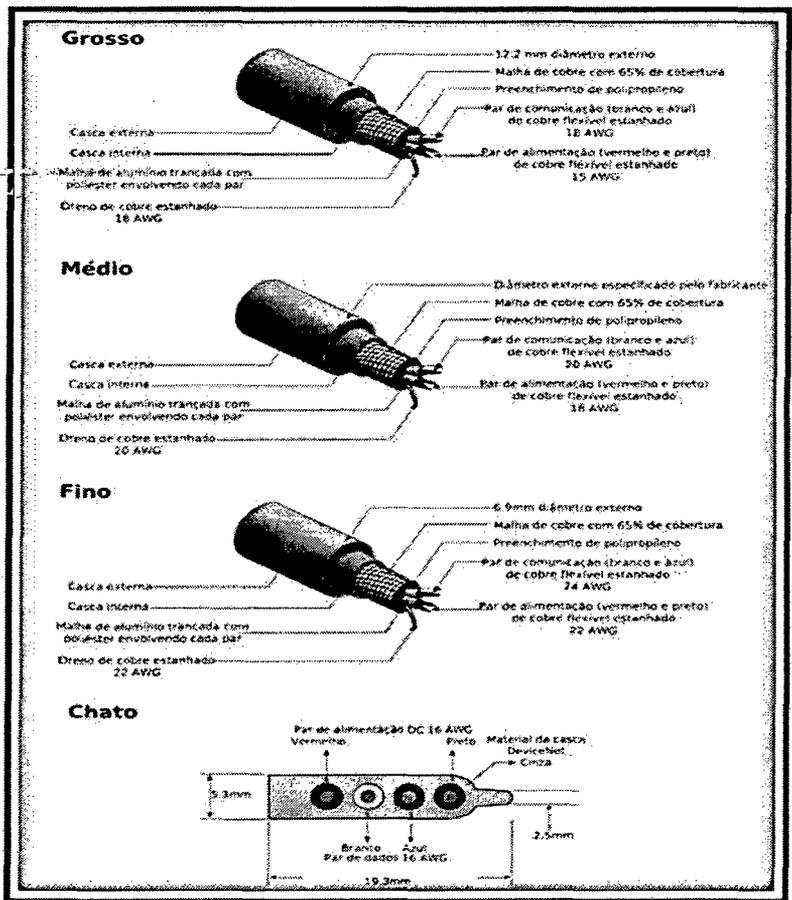


Figura 2.10. Tipos de cables para la red DeviceNet (Fuente: <http://www.smar.com/espanol/devicenet.asp>).

Los cables DeviceNet más usados (delgado y grueso) tienen 5 conductores identificados.

Tabla 2.3. Configuración de los hilos de cables de acuerdo a los colores.

Color del cable	Señal	Cable redondo	Cable chato
Blanco	CAN_H	Sinal DN	Sinal DN
Azul	CAN_L	Sinal DN	Sinal DN
Alambre desnudo	Dreno	Protección	No usado
Negro	V-	Alimentación	Alimentación
Rojo	V+	Alimentación	Alimentación

Fuente: <http://www.smar.com/espanol/devicenet.asp>

En la figura 2.11 se muestra el esquema de colores de los cables DeviceNet

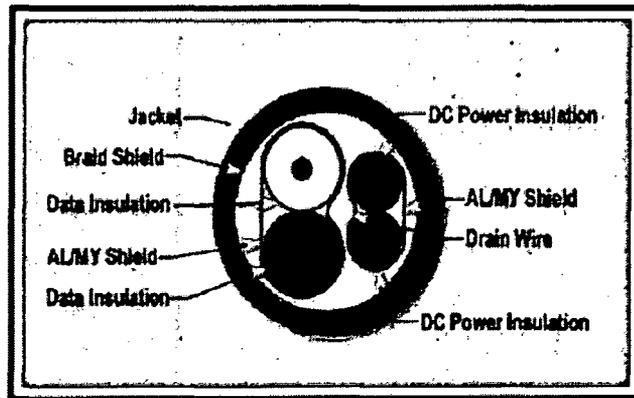


Figura 2.11. Vista frontal de cables DeviceNet (Fuente: <http://www.smar.com/espanol/devicenet.asp>).

Los Puntos de alimentación ("Power Taps") que se pueden añadir en cualquier punto de la red haciendo posible la redundancia de la alimentación en la red. La corriente en la "Línea principal" es de 8 amperios (con cable grueso "thick").

En el cable tipo "delgado" la corriente máxima es de 3 amperios. Una opción opto-aislada del proyecto permite dispositivos energizados externamente (por ej.: el inicio de los conductores AC y válvulas solenoides) compartiendo el mismo cable del bus. Otras redes basadas en CAN permiten solamente una única fuente de alimentación para la red entera. Los dispositivos pueden ser alimentados directamente de la red y comunicarse con el mismo cable. Los nodos pueden ser removidos o insertados en la red sin desconectar la red.

h) Conectores

Hay tres tipos básicos de conectores: abierto, mini-cerrado y micro-cerrado. El uso de uno o de otro depende de la aplicación y de las características del equipo o de la conexión que debe ser hecha. Veja en las figuras siguientes la codificación de los hilos en cada tipo.

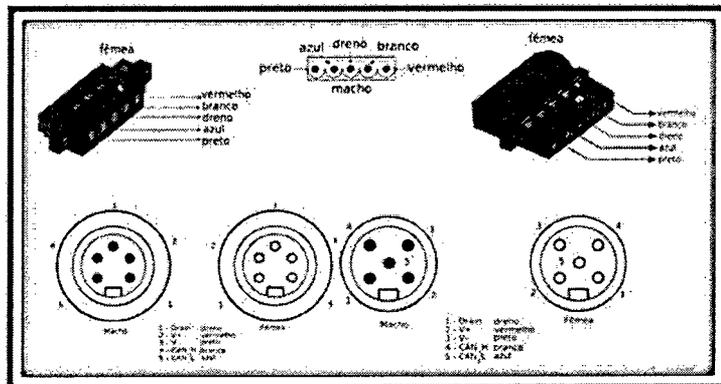


Figura 2.12. Conectores de la red DeviceNet (Fuente: <http://www.smar.com/espanol/devicenet.asp>).

i) Terminadores de la red

Los terminadores en la red DeviceNet ayudan a minimizar las reflexiones en la comunicación y son esenciales para el funcionamiento de la red. Los resistores de terminación (121W,

1%, 1/4 W) deben ser colocados en los extremos del bus, entre los hilos CAN_H y CAN_L (blanco y azul).

No coloque el terminador dentro de un equipo o en el conector porque al ser movido también mueve el terminador causando una falla general en la red. Deje los terminadores siempre independientes y aislé los extremos del bus, de preferencia dentro de las cajas protectoras o cajas de paso.

Para verificar si los terminadores están presentes en la red, mida la resistencia entre los hilos CAN_H y CAN_L (blanco y azul) con la red des energizada: la resistencia medida debe estar entre 50 y 60 Ohm.

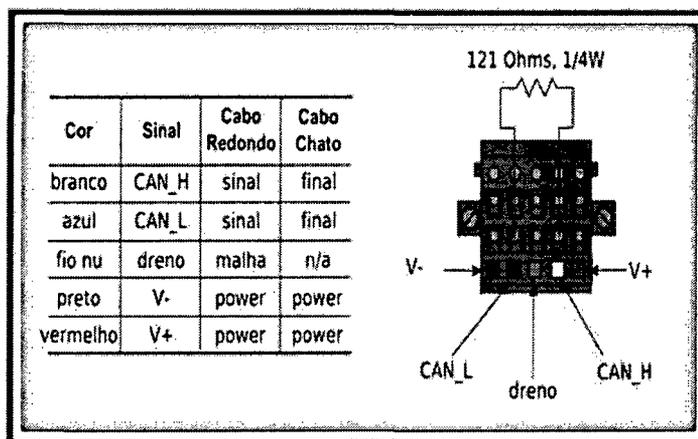


Figura 2.13. Resistores de terminación (Fuente: <http://www.smar.com/espanol/devicenet.asp>)

B. Comunicación de ControlNet¹⁷.

La red ControlNet es una red de control abierta que satisface las demandas de aplicaciones en tiempo real de alto rendimiento efectivo. ControlNet admite enclavamiento de controlador a controlador y control en tiempo real de E/S, variadores y válvulas. También proporciona conexión en red de control en aplicaciones discretas y de proceso,

¹⁷ Comunicación de ControlNet: URL [<http://ab.rockwellautomation.com/networks-and-communications/controlnet-network>]. Visitado el 13 de noviembre de 2013.

incluida aplicaciones de alta disponibilidad.

Características:

- Programación, enclavamiento de procesador a procesador y control de E/S en el mismo vínculo sin afectar las E/S que tienen tiempo más crítico.
- Opciones de medios físicos para satisfacer las necesidades de su aplicación, incluidos cobre, fibra, anillo de fibra, redundancia de medios físicos y seguridad intrínseca.
- Admite un máximo de 99 nodos, sin distancia mínima entre nodos.
- Acceso de red desde cualquier nodo para programación y resolución de problemas de controladores.
- Eficiencia mejorada de la red con multidifusión de entradas y datos entre dispositivos similares.

Tabla 24. Descripción de la red ControlNet

Capacidad	Descripción
Topología	Línea troncal, línea de derivación Estrella Árbol Anillo
Capacidad	Cada red ControlNet admite hasta 99 nodos Uso de repetidores para agregar más nodos Algunos controladores Allen-Bradley® admiten múltiples redes ControlNet
Conexiones	Programadas o no programadas Usted determina indirectamente el número de conexiones que usa el controlador al configurarlo para que se comunique con otros dispositivos del sistema
Distancias	La distancia máxima depende del número de nodos en la red Uso de repetidores para lograr mayores distancias

Fuente: <http://www.smar.com/espanol/devicenet.asp>

En la figura 2.14 se muestra los módulos de ControlNet para ControlLogix.

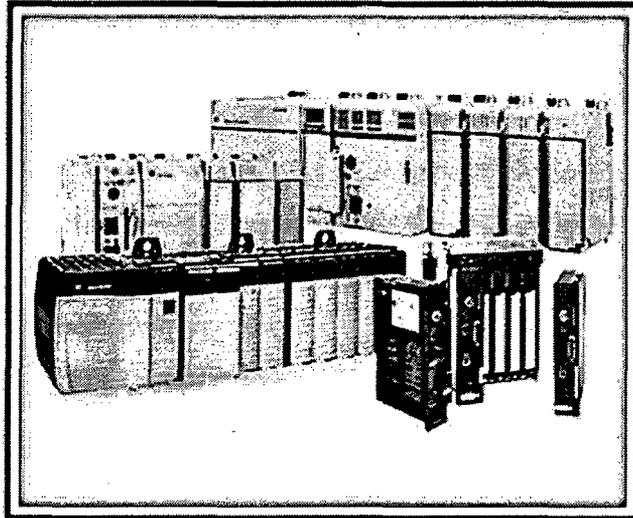


Figura 2.14. Módulos de ControlNet para PLC (Fuente:<http://ab.rockwellautomation.com/Networks-and-Communications/ControlNet-Connected-Products>).

2.2.7. Módulos de redundancia ControlLogix¹⁸

Los módulos de redundancia ControlLogix Boletín 1756 admiten arquitecturas de controladores completamente redundantes sin necesidad de programación adicional. Los programas se cargan automáticamente desde el controlador primario al secundario. El controlador primario actualiza automáticamente el secundario con cambios en los datos para mantener la sincronización de los controladores. Si el primario falla, el control cambia automáticamente al secundario y las funciones de prioridad más alta se garantizan con una 'transferencia sin perturbaciones'. La redundancia de los controladores es transparente para cualquier dispositivo

¹⁸ Módulo de redundancia ControlLogix: URL [<http://ab.rockwellautomation.com/networks-and-communications/controlnet-network>]. Visitado el 13 de noviembre de 2013.

conectado a través de una red Ethernet/IP o ControlNet. Seleccione el módulo de redundancia de entorno extremo ControlLogix Ver figura 2.15.

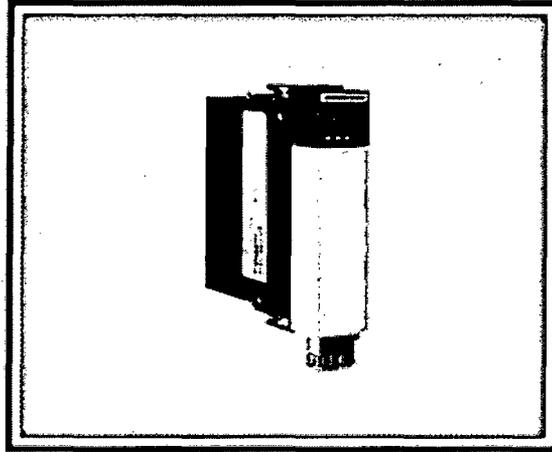


Figura 2.15. Módulos de Redundancia para ControlLogix
(Fuente: <http://ab.rockwellautomation.com/es/programmable-controllers/controllogix-redundancy-modules>).

Se aprovecha los diagnósticos mejorados de los nuevos módulos de redundancia ControlLogix

Los nuevos productos de redundancia ControlLogix™ proporcionan mejoras importantes de rendimiento y diagnósticos mejorados. Los módulos de redundancia 1756-RM2 y 1756-RM2XT:

- Cuentan con una mayor capacidad de procesamiento de datos, lo que reduce el impacto del tiempo de escaneo
- Proporcionan velocidades de fibra de hasta 1 GB, lo que permite cargas cruzadas más rápidas
- Ofrecen canales de fibra redundantes, por lo que no hay un único punto de falla.
- Cuentan con una pantalla de diagnóstico mejorada (que se utiliza con la herramienta de configuración del módulo de redundancia) que reduce el tiempo de resolución de problemas.
- Ofrecen compatibilidad con todas las revisiones de firmware y módulos

de comunicación que admiten los módulos 1756-RM.

- Utilizan los mismos cables de fibra que los módulos 1756-RM.

2.2.8. Red de E/S remotas (RIO) universales.¹⁹

La red universal de E/S remotas es una red de área local diseñada para conectar controladores a chasis de E/S remotas y una serie de dispositivos inteligentes tales como interfaces de operador y variadores de CA o CC.

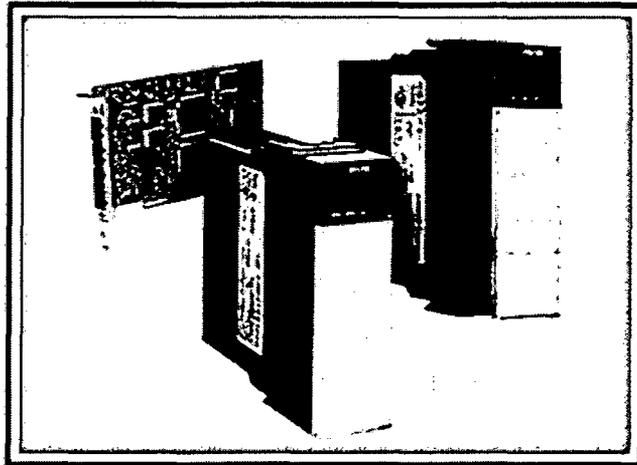


Figura 2.16. Módulos de RIO para ControlLogix (Fuente: <http://ab.rockwellautomation.com/networks-and-communications/universal-remote-io-network>.)

Características:

Red de área local diseñada para las aplicaciones de la planta.

Conecta los controladores a chasis de E/S remotas y otros dispositivos inteligentes.

Productos:

Interfaces de E/S remotas universales.

¹⁹ Red de E/S remotas (RIO) universales: URL [<http://ab.rockwellautomation.com/networks-and-communications/universal-remote-io-network>]. Visitado el 13 de noviembre de 2013.

2.29. FLEX Ex I/O²⁰.

FLEX Ex I/O Boletín 1797 con seguridad intrínseca (IS) combina las ventajas de nuestra plataforma FLEX I/O con la tecnología IS. Permite distribuir las E/S en áreas peligrosas con fibra óptica o cable coaxial único o redundante, con lo que prácticamente se eliminan las barreras y los aisladores IS, los envolventes, los tendidos de cableado largos y las canaletas de cables. FLEX Ex I/O se comunica con su sistema de control a través de una red ControlNet. Es compatible con FLEX I/O y módulos de comunicación estándar para flexibilidad adicional en opciones de red y configuración de sistemas.

Características:

Se instala en áreas peligrosas (Zona 1) sin envolventes con purga o a prueba de explosión.

- Proporciona una solución basada en ControlNet en el área peligrosa con el uso de productos ControlNet Ex.
- El diseño modular le permite seleccionar independientemente las E/S, el estilo de terminación y la interface de red.
- Se ensambla sin herramientas: todos los componentes se encajan en un riel DIN y se conectan para formar el sistema de E/S.
- Se monta horizontal o verticalmente en un riel DIN estándar.
- La desconexión y reconexión con la alimentación conectada (RIUP) permite reemplazar módulos y hacer conexiones en el área peligrosa mientras el sistema está en operación.
- Los esquemas de ingeniería simplificados, la documentación y la certificación de la ubicación aceleran la puesta en marcha.

Productos:

- Interfaces de comunicación FLEX Ex I/O 1797.
- Proporciona la interface entre los módulos y el backplane FLEX Ex I/O y la red ControlNet.

²⁰ FLEX Ex I/O. URL [<http://ab.rockwellautomation.com/io/1794-flex-io>]. Visitado el 13 de noviembre de 2013.

- Bases de terminales FLEX Ex I/O 1797.
- El módulo de E/S se enchufa en la base de terminales.
- Proporciona puntos de conexión de terminales para un módulo de E/S.
- Las bases de terminales se enchufan entre sí para formar el backplane del sistema.
- Módulos FLEX Ex I/O 1797.
- Proporciona circuitos de E/S de seguridad intrínseca.
- Conecte un máximo de ocho módulos de E/S en un ensamblaje.
- Fuentes de alimentación eléctrica FLEX Ex 1797.
- Hay dos opciones de 120 VCA o 24 VCC disponibles para alimentar el sistema FLEX Ex I/O.

Certificaciones:

Los módulos FLEX Ex I/O cuentan con clasificación para instalarse en:

- Áreas peligrosas Clase I División 1 y 2, Grupos A-D.
- Áreas peligrosas Clase I Zona 1 y 2, Grupos IIC, IIB e IIA de Norteamérica
- Dispositivos de campo ubicados en áreas peligrosas Clase I, II o III, Grupos A-G.

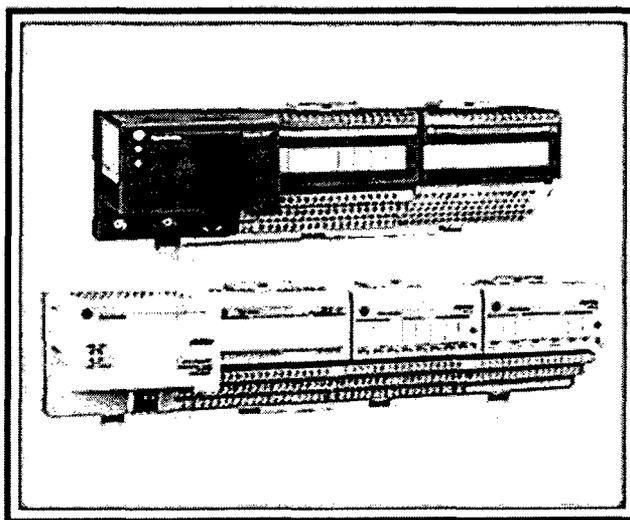


Figura 2.17. Módulos de RIO para ControlLogix (Fuente: <http://ab.rockwellautomation.com/networks-and-communications/universal-remote-io-network>.)

2.2.10. Equipos industriales de campo etapa de chancado.

La operación de reducción de tamaño del mineral (comminución) consiste en la producción de partículas de menor masa a partir de trozos mayores, para ello es necesario provocar la fractura o quebrantamiento de las mismas, mediante la aplicación de presiones.

El objetivo es preparar al mineral para la posterior extracción de los elementos valiosos contenidos en la mena o su composición. Puede llevarse a cabo utilizando varias etapas de chancado, lo que depende de las características de la alimentación, características del mineral y de la operación posterior.

El mineral provenientes de la mina presenta una granulometría variada, desde partículas de menos de 1 mm hasta fragmentos mayores de 1 m de diámetro, por lo que el objetivo del chancado es reducir el tamaño de los fragmentos mayores hasta obtener un tamaño uniforme de máximo de 3/8 pulgadas.

Para lograr el tamaños deseado de 3/8 pulgadas en el proceso del chancado se utiliza la combinaciones de tres equipos van reduciendo el tamaño de los fragmentos en etapas, las que se conocen como etapa primaria, etapa secundaria y terciaria.

En la etapa de primaria el chancado primario reduce el tamaño máximo de los fragmentos a 8 pulgadas de diámetro.

El etapa secundaria, el tamaño del material se reduce a 3 pulgadas.

En la etapa terciaria, el material mineralizado logra llegar a finalmente a 3/8 pulgadas.

Los chancadoras son equipos eléctricos de grandes dimensiones, en estos equipos, los elementos que trituran la roca mediante movimiento vibratorios, las selecciones de dimensiones se utilizan zarandas vibratorias, y el transportes serán por fajas para que el sistema de chancado sea optimo se implementó en el proceso sensores que puedan controlar, y monitorear

amarradores electrónicos, paneles y etc.

2.2.11. Chancadora Secundaria de Cono.²¹

Equipada con revestimientos en acero al manganeso, sistema de ajuste y trabamiento mecánico, bujes de bronce, sistema de alivio por resorte, sistema de lubricación integrado (compuesto de bomba independiente, termostato, presostato, tanque de aceite, calentador de inmersión, filtro de aceite e intercambiador de calor a aire), herramientas especiales poleas del motor y de la chancadora, estos equipos son controlados por su paneles y teniendo sensores de temperatura, presión, posición, potencia y corrientes que son mostrados en a la pantalla ASRI, y todo estos parámetros son visto y controlado desde el PLC. Para el cual estos sensores se muestran en P&D.

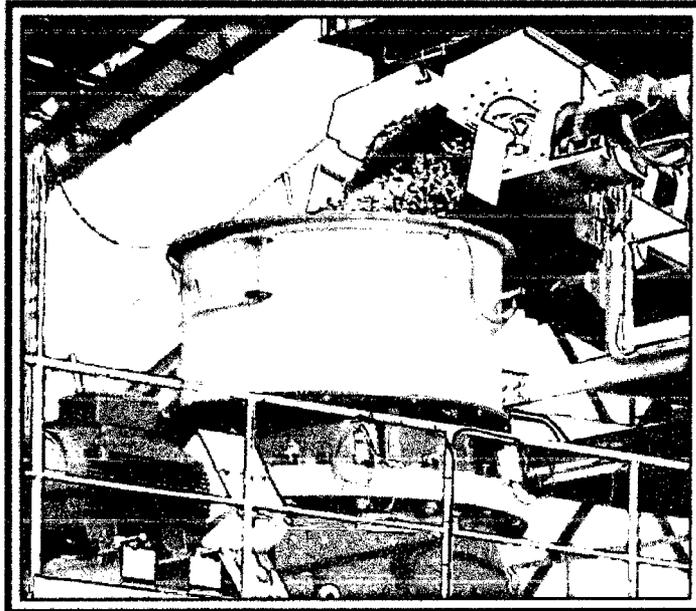


Figura 2.18. Chancadora terciaria y Secundaria CH-660
(Fuente:<http://es.scribd.com/doc/99746018/CH420-Part-1>).

²¹ Chancadora secundaria de cono: URL [https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/escolares_chancado_y_molienda.asp]. Visitado el 13 de noviembre de 2013.

2.2.12. Arrancadores en estado Sólido y Relé electrónico.²²

Este arrancador está constituido por dispositivos de estado sólido (tiristores) mediante los cuales se controla la tensión que alimenta al motor, la tensión aumenta en forma progresiva evitando el cambio brusco del par y la corriente de arranque. Mediante este tipo de arranque se consigue controlar las características de funcionamiento durante los períodos de arranque y parada. La corriente y el par pueden regularse en un amplio rango. Normalmente una vez que el motor ha arrancado, el arrancador de estado sólido se puentea mediante un contactor llamado de 'bypass'. Solo se requiere que los motores tengan 3 terminales.

- **Componentes principales:**

- Arrancador electrónico (estado sólido)

- Contactor electromagnético de bypass

- Relé de protección térmico (si es requerido)

- **Características principales:**

- Para solicitar un motor se requiere los siguientes datos:

- Potencia del motor: HP o kW

- Tensión del motor: 220 V, 380V, 440V, 480 V

- Frecuencia de la red: 60 Hz

- Altitud

- Fabricación bajo Norma IEC

- **Opciones:**

- Pulsadores de arranque y parada

- Pilotos de señalización: arranque, parada, sobrecarga

- Borneras para conexión externa

²² Arrancadores en estado sólido y relé electrónico: URL [<http://www.softstarter.org>]. Visitado el 13 de noviembre de 2013.

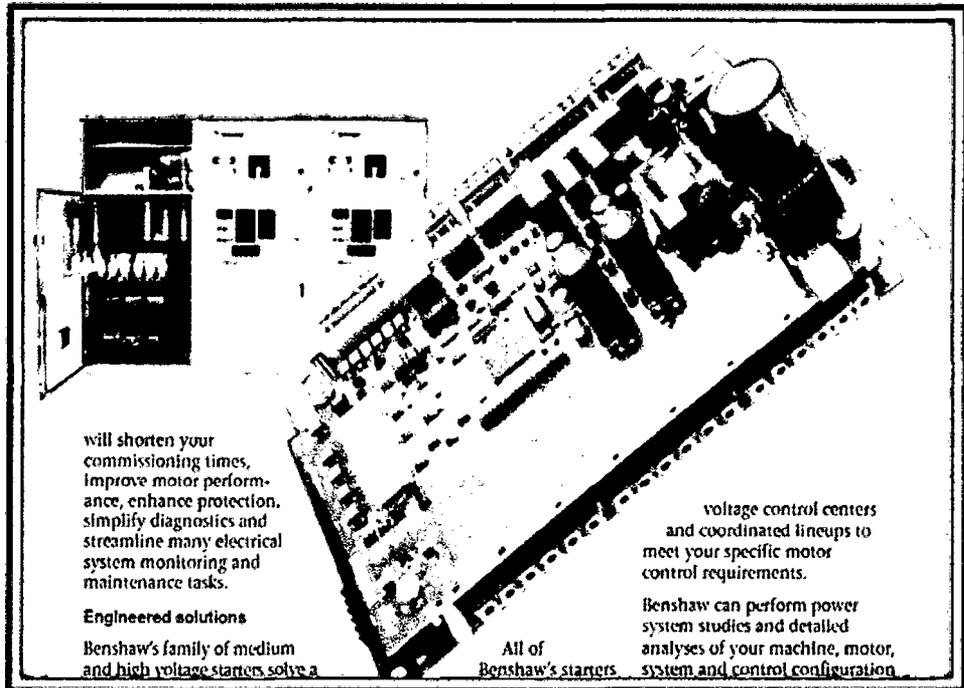


Figura 2.19. Arrancador de Estado Sólido Soft Starter (Fuente: <http://benshaw.cwfc.com/pdf/MediumVoltageControls.pdf>).

2.2.13. Automatización.

Control y supervisión:²³

El sistema de control está compuesto por varios subsistemas distribuidos geográficamente y funcionalmente, de acuerdo a las diferentes áreas del proceso, y estarán enlazadas a un SCADA (PCS).

En la mina marsa, en el proyecto de ampliación, se propone una arquitectura nueva de sistema SCADA, y se optimiza, reforzando con la implementación de controladores, nuevas estaciones de operación y un servidor de datos históricos. Todas las estaciones de operación y servidor de históricos, estarán conectadas a la red de controladores de la planta, y desde éstas se podrá supervisar y controlar todas las áreas de la planta.

²³ Control y Supervisión: URL [http://www.rocatek.com/sistema_supervision.php]. Visitado el 13 de noviembre de 2013.

Para manejar las nuevas señales para comando y/o supervisión del nuevo equipamiento, se añadirán tableros de señales en campo (RIOs) y tableros de control (LIO), considerando un 50% (50% de la capacidad instalada de cada tablero individualmente) como reserva, pensados para modificaciones y/o cambios futuros del proyecto o de la operación.

2.2.14. Plataforma de supervisión y control²⁴.

El SCADA, basado en la plataforma In Touch de WonderWare y PLC's, está compuesto por dos estaciones de operación (una ubicada en la nueva sala de control de chancado y la otra en la sala de control de molienda existente). También se cuenta con un servidor de históricos, donde se almacenarán las variables del proceso. Todo éste equipamiento está enlazado a la red LAN del Proceso, que recibe el nombre de la red de control.

El sistema de supervisión es flexible, de manera que permita en cualquier momento agregar dispositivos y realizar mejoras en el sistema de control de toda la planta de chancado.

Se considera una estación de supervisión denominada Workstation similar a un PC, Ubicado en la sala de control. También el sistema permite gestionar la energía y optimizar la producción ver figura 2.19.

²⁴ Plataforma de Supervisión y Control: URL [http://www.rocatek.com/sistema_supervision.php]. Visitado el 13 de noviembre de 2013.

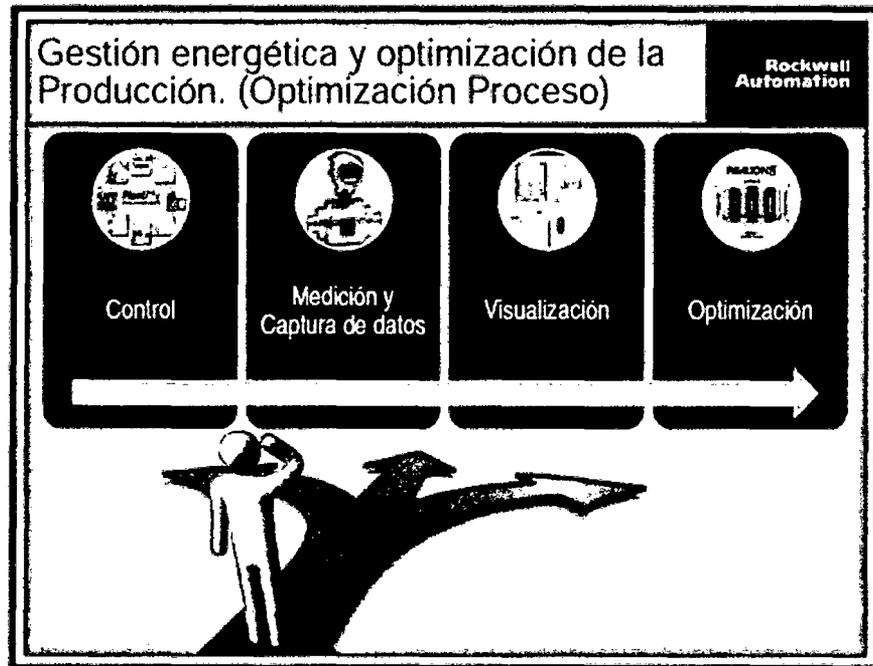


Figura 2.20. Supervisor de procesos y control (Fuente: <http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1114/1.pdf>).

2.2.15. Equipos principales para el control y supervisión.

Controlador: Equipo compuesto por CPU, fuente de alimentación, interfaces de comunicación y que maneja la información que ingresa y sale por los módulos de entrada/salida. Por la potencialidad de efectuar el control en lazo cerrado de variables analógicas o del control secuencial del arranque y parada de equipos, puede ser clasificado en un Controlador propiamente, un PLC o un Control híbrido (mezcla de Controlador y PLC). Ver figura 20.

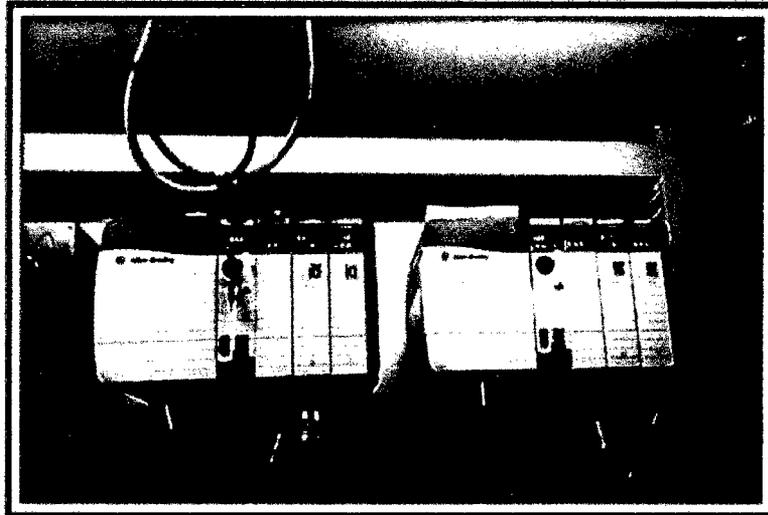


Figura 2.21. Controlador Allen Bradley Instalado (Fuente: Elaborado por el investigador.)

Control Local: Se ejecuta a través de uno o más controladores, que procesa la información que ingresa y sale por los módulos de entrada/salida que proviene de instrumentos o dispositivos localizados dentro de la misma área geográfica, o forman parte de la misma etapa del proceso industrial. Se ubica en la sala eléctrica local, y su comunicación con el operador es a través de la estación de trabajo local, llamado también Panel de Procesos (Process Panel).

Control Central: Todos los controladores locales se conectan en red con topología en anillo a una sala de control central, desde donde se puede ejecutar el control automático y manual de cada equipo, instrumento o dispositivo, a través de una estación de control central.

Redundancia de Control: Si el controlador tiene dos CPU, y generalmente dos fuentes de alimentación, se dice que posee redundancia de control. Si el CPU activo y/o la fuente activa falla, el sistema conmuta para que entre a operar el CPU y/o fuente que se encontraba en stand by, esto hace muy confiable al sistema.

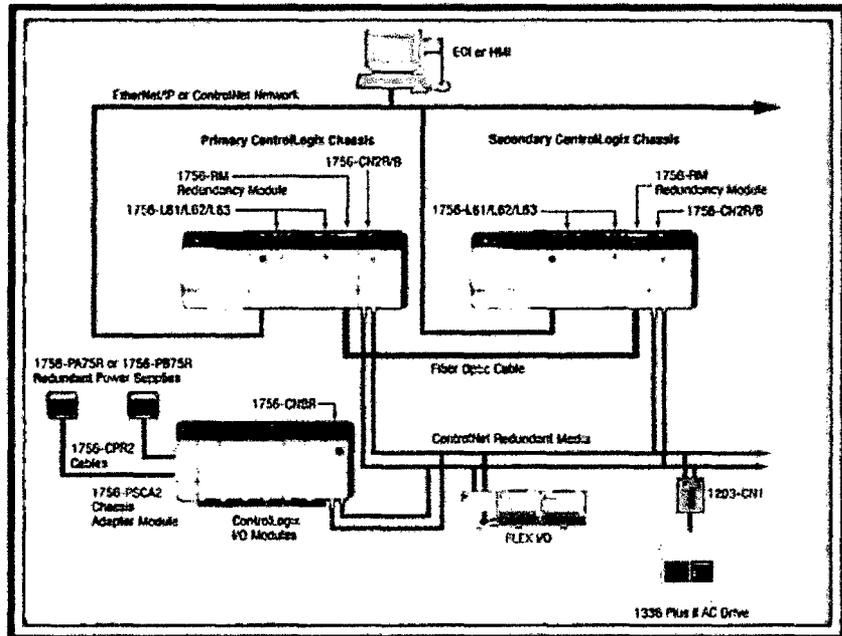


Figura 2.22. Arquitectura industrial de Allen Bradley
(Fuente: <http://conbotassucias.wordpress.com/2013/02/04/compatibilidad-en-software-de-rockwell/>).

Redundancia de Comunicaciones: Si el controlador y los tableros de módulos I/O, y otros equipos se conectan en una red en anillo o en bus doble, se dice que posee conexión para redundancia en comunicaciones. En todos los equipos deben existir dos puertos de comunicaciones para el mismo protocolo.

ECL: Estación de Control Local, es el tablero de mandos localizado en el campo al lado del equipo, que dispone de botoneras de Arranque (ST), Parada (SP) y Parada de Emergencia (PE). Existen ECL para los motores y cuentan con selector local/remoto.

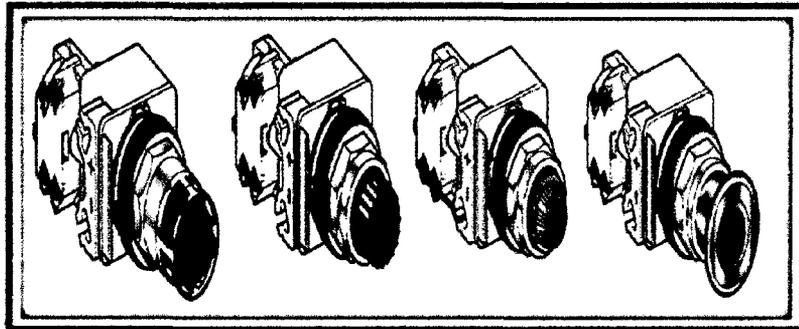


Figura 2.23. Botonera de campo para arranque Local
(Fuente: <http://1561.ar.all.biz/botoneras-22-22mm-g5975>).

Estación de trabajo local: En el caso de los controladores del proceso (PCS), el panel de procesos estará instalado cerca al área de influencia del controlador (deberá estar instalado fuera de la sala eléctrica para evitar que el personal operador ingrese a la sala eléctrica). En el caso de los PLCs y controladores secundarios (Stand Alone).



Figura 2.24. Interface Hombre Maquina HMI (Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/homer-ppg/automatas-programables-hmi-pantalla-tactil-integrada-23203-1035371.html>).

Estación de trabajo central: Panel de operación instalado en la sala de control central, puede ser un Workstation similar a un PC, o puede ser una estación terminal conectada a un Servidor.

Tablero RIO (Remoto Input/Output): Tablero concentrador de señales (analógicas, digitales, RTD's, etc.) de campo, ubicados estratégicamente en cada área del proceso para el manejo y supervisión de las variables del proceso. La información obtenida en sus múltiples tarjetas de entrada/salida son transmitidas al controlador por comunicación (Ethernet IP). Ver figura 2.24.

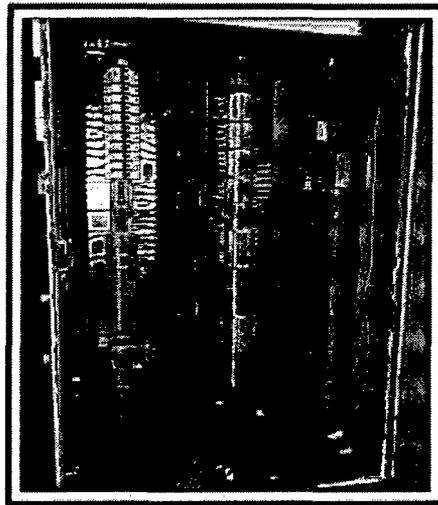


Figura 2.25. Tablero Remoto con módulo Flex I/O (Fuente: Elaborado por el investigador).

Tablero LIO (Local Input/Output): Tablero que alberga al controlador y puede contener tarjetas de entradas/salidas analógicas y/o digitales para control y/o supervisión. Se encuentran ubicadas en el interior de las salas eléctricas. Dependiendo de la complejidad y/o importancia del proceso podrán contar con controladores redundantes, pero indistintamente de la cantidad de controladores, cuentan con comunicación redundante con las estaciones de trabajo central. Ver figura 2.25.

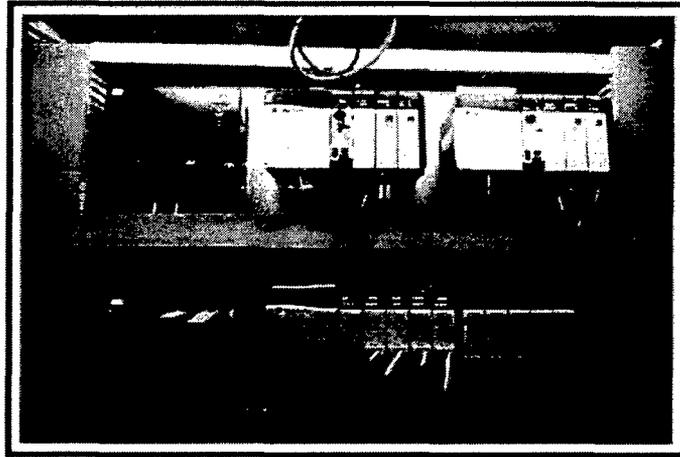


Figura 2.26. LIO y módulos de comunicación y redundancia
(Fuente: Elaborado por el investigador).

2.2.16. Programación de un PLC e In Touch de WonderWare²⁵

En el nivel de control, se considera el uso de controladores de la familia ControlLogix, con redundancia de CPU (controlador), backplane y fuentes de alimentación. Cada controlador estará instalado en su propia base, junto con una tarjeta de comunicación, fuente de alimentación y módulo sincronizador de redundancia. Las tarjetas de comunicaciones para enlace con CCM's, RIO's u otros equipos estarán instaladas en un backplane separado. El enlace entre back planes se realizará mediante topología en anillo. En lo posible, no se deberá considerar el uso de tarjetas para E/S digitales o analógicas en los gabinetes LIO.

²⁵ ²⁵ Programación de un PLC e In Touch de WonderWare: URL [<http://plc-hmi-scadas.com/SCADA-INTOUCH/>]. Visitado el 13 de noviembre de 2013.

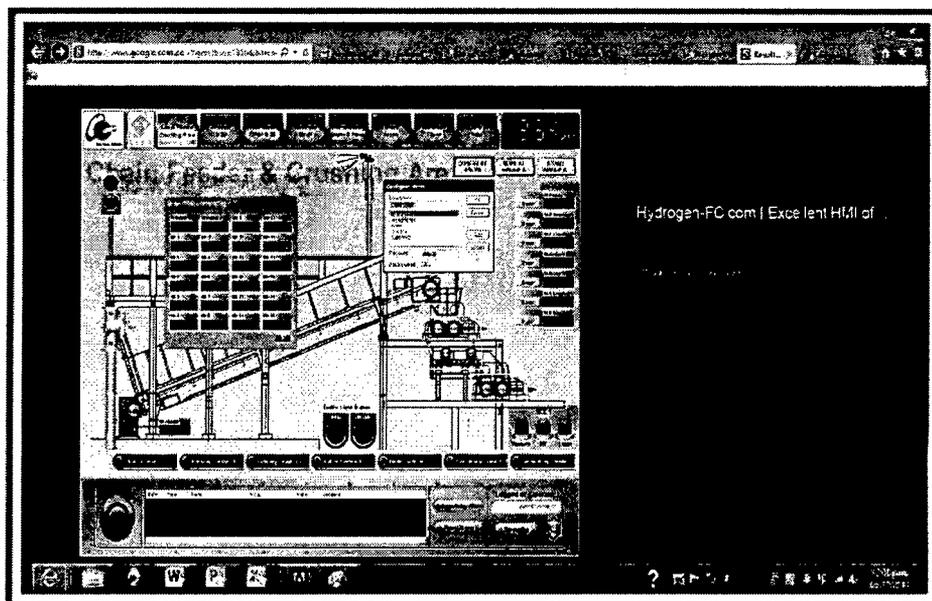


Figura 2.27. Plataforma InTouch de WonderWare (Fuente: Elaborado por el investigador.)

Cada área de proceso contará con un tablero de control (tablero con controladores redundantes) independiente. La comunicación entre los controladores del proceso, se realizará por mensajes entre éstos, utilizando la red de control.

Las señales de E/S digitales, analógicas, lectura de RTD's, contadores, etc., para protección del equipamiento o propias del proceso, serán centralizadas en gabinetes RIO, los cuales estarán basados en módulos Flex IO. Estos se enlazarán al gabinete LIO correspondiente por medio de comunicación Ethernet IP con topología en anillo. Este nivel de comunicación será nombrado como bus de campo. El anillo se generará entre el gabinete LIO y los gabinetes RIO.

Para el comando y supervisión de parámetros de los arrancadores centralizados en los CCMs, se realizará mediante protocolo DeviceNet. Por cuestiones de diseño, se debe considerar como máximo 30 nodos por cada escáner DeviceNet, pudiendo ser menos dependiendo de los cálculos para dimensionamiento de la red, dependientes de la distancia, voltaje de

alimentación, velocidad, tamaño de información, etc.

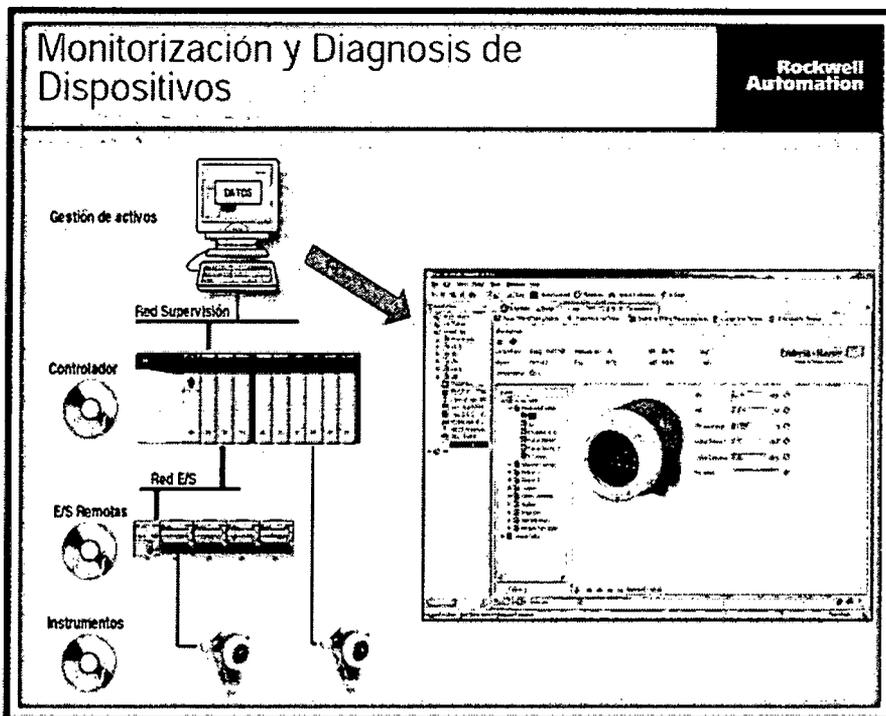


Figura 2.28. FactoryTalkView diagnóstico de dispositivos (<http://automatizarlo.blogspot.com/2011/04/scada.html>).

2.2.17. Comunicaciones lógicas de un PLC planta de chancado "Marsa"

La red de control, estará basada en comunicación Ethernet IP (estándar de Rockwell), y utilizará topología en anillo como redundancia. Para distancias menores a 100 metros, se utilizará cable de cobre STP, y para distancias mayores se considera el uso de fibra óptica mono modo ADSS para todo los equipos modulo REMOTAS con el PLC, para las comunicación de CCM serán de tipos DeviceNet, las comunicaciones de los instrumentos de campo con los REMOTAS "RÍOs" son discretos, señales analógicas y RTD de sensores temperaturas.

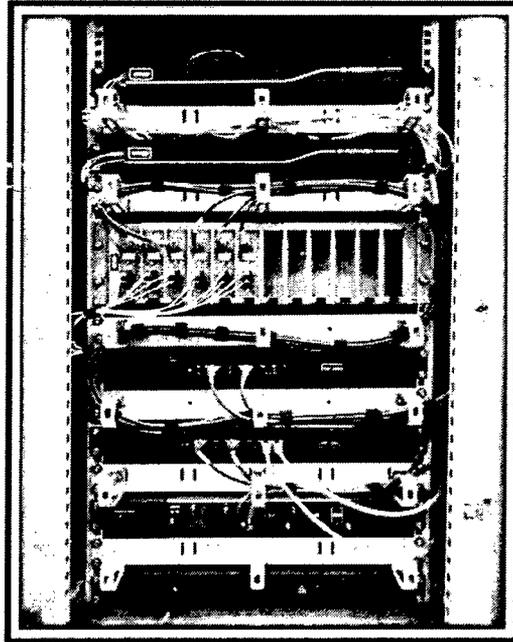


Figura 2.29. Tableros de comunicación (Fuente: Elaborado por el investigador).

2.2.18. Centro de control de motores.

El CCM 460VAC será para servicio interior, blindado, sin partes bajo tensión accesibles, conformado por unidades extraíbles, las cuales estarán equipado con interruptores, relés de protección y registro multifunción, seccionadores fusibles y otros.

Todos los elementos sujetos a las fuerzas electromagnéticas de cortocircuito se diseñarán para soportar sin sufrir daño alguno corrientes de cortocircuito que sean por lo menos equivalentes a aquellas de los interruptores.

Al frente de cada CCM y de cada módulo que se amplíe posteriormente, se instalará una placa de características conteniendo como mínimo la siguiente información:

- Tag del equipo
- Fabricante

- Año fabricación
- Nº de Serie
- Tensión nominal de trabajo
- Corriente en Barras
- Corriente de cortocircuito simétrica

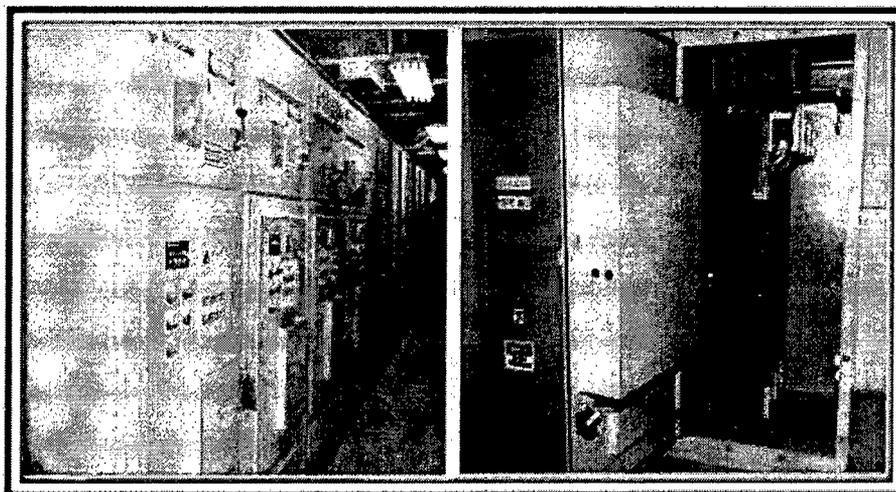


Figura 2.30. Centro de control de motores (Fuente: Elaborado por el investigador).

2.2.19. Requerimientos generales de Instrumentación.

Los instrumentos serán de los tipos, construcción y funcionamiento normalmente suministrados para las funciones a que se detallan en las Hojas de Datos Técnicos, debiendo estar provistos de todos los accesorios, necesarios para considerarlos completos y aptos para funcionar, y para poder ejecutar su respectivo montaje, aún si no se indican expresamente en la presente Especificación Técnica.

Los instrumentos y sus accesorios deberán estar diseñados de manera que todas sus partes sean fácilmente accesibles para su inspección, mantenimiento, reparación, y cambio.

Los equipos deberán estar protegidos contra las condiciones climáticas

industriales como son: la temperatura, variaciones de frecuencia en la red eléctrica, vibraciones mecánicas, condiciones ambientales, etc. Por lo tanto, todos los equipos suministrados deberán estar protegidos para el ambiente antes descrito.

El Proveedor deberá asegurarse que los instrumentos ofertados cumplan los requerimientos indicados en las Hojas de Datos Técnicos para las condiciones del lugar de instalación. De ser el caso, incluirá los elementos necesarios para adecuar el funcionamiento a las condiciones de operación especificadas.

Cada instrumento deberá suministrarse con una placa de acero inoxidable a la que se le grabará el número etiqueta de cada instrumento en bajo relieve, fijado con un cordón de acero inoxidable. El número de etiqueta designado en la placa de acero inoxidable está indicado en la hoja de especificaciones técnicas de cada instrumento.

La identificación de cada instrumento o equipo deberá ser en idioma castellano.

• **Características Nominales:**

Todos los instrumentos deberán operar correctamente con un suministro de corriente alterna monofásica, estabilizada de 120 VAC, 60Hz, monofásica, la cual es de uso exclusivo para todos los equipos de instrumentación. Se puede utilizar 24 VDC siempre y cuando el Proveedor incluya fuente incorporada que opere con los 120 VAC indicados. Los únicos equipos considerados dentro del suministro de energía de 24 VDC son los transmisores a 2 hilos tipo HART.

Cada instrumento bajo esta especificación deberá trabajar continuamente las 24 horas del día, los 7 días de la semana, las 52 semanas y los 365 días del año en un ambiente corrosivo que contiene polvo industrial.

• **Instrumentos:**

Los instrumentos deberán ser diseñados, fabricados y probados para cumplir con las funciones y rangos que se indican en las Hojas de Datos Técnicos.

Los instrumentos deberán tener protección NEMA 4 ó 4X, según sea su

empleo: bajo techo o a la intemperie.

La salida analógica de los transmisores será de 4-20 mA, correspondiendo esta señal a 0-100% de la variable de proceso.

Cualquier entrada analógica requerida por los instrumentos será también de 4-20 mA, correspondiendo esta señal a 0-100% de la variable de proceso.

Todos los instrumentos de campo deberán tener un terminal de tierra de instrumentación.

Las conexiones eléctricas serán de 1/2" o de 3/4" NPT, según el volumen de cables necesarios.

Los instrumentos utilizarán componentes de estado sólido construidos en tarjetas modulares. La configuración deberá ser programable en una memoria no volátil. Los diagnósticos suministrarán una prueba completa e informe de todos los malos funcionamientos internos que ocurran.

La correcta operación de los instrumentos electrónicos no deberá ser afectado por los equipos de comunicaciones de radio que operen hasta con una potencia de 5 vatios a una distancia de un metro del instrumento.

2.2.20. Descripción del funcionamiento de la zona chancado de mineral de la minera MARSÁ

A continuación se describe todo el proceso de chancado de mineral en la minera MARSÁ aurífera unidad Retama, la que hará posible la implementación de la arquitectura de control de la zona de chancado:

a) Faja transportadora N° 1:

La faja transportadora N° 1 recibe carga de los alimentadores, a través de un chute de transferencia. Esta faja cuenta con un arrancador sin posibilidad de ser enlazado por comunicaciones a la red de CCMs, esta faja depende funcionalmente de la faja transportadora N° 2. Esta señal será configurada en el sistema de control, y será proporcionada

desde el RIO 7100-001, desde donde se cableará hasta el arrancador de la faja N° 1 para su arranque.

Por otro lado, en el sistema de control se podrán supervisar los estados de la nueva instrumentación que será instalado. Estas señales son:

- SSL-22101 – Señal de interruptor de velocidad cero.
- ZA1-22101 – Señal de alarma por des alineamiento en cola de faja
- ZS1-22101 – Señal de tripeo por des alineamiento en cola de faja.
- ZA2-22101 – Señal de alarma por des alineamiento en cabeza de faja.
- ZS2-22101 – Señal de tripeo por des alineamiento en cabeza de faja.
- HSS-22101 – Señal de tripeo por accionamiento de interruptor de parada de emergencia.
- XS-22101 – Señal de tripeo por accionamiento de interruptor de detección de faja rota.
- LSH-22101 – Señal de tripeo por accionamiento de interruptor de atoro de chute.

Adicionalmente, esta Faja cuenta con una alarma auditiva y visual en campo (sirena y baliza), la cual es utilizada para:

Indicar que se ha detectado que uno de los interruptores que sirven para protección de la faja se ha activado, con lo cual alerta al operador para que se tomen las acciones necesarias

b) Faja transportadora N° 2

La faja transportadora N° 2 recibe carga de la faja transportadora N° 1, a través de un chute de transferencia. En el sistema de control se deberán considerar las siguientes alarmas, permisos y enclavamientos:

- **Alarmas (preventivo):**
 - ZA1-22102 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cola.

- ZA2-22102 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - M-20228-IAH – Alarma corriente alta, motor de Faja Transportadora N°2.
- **Permisivos (inhiben el arranque del equipo):**
- ZS1-22102 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22102 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22102 – Pul coord. de emergencia activado.
 - LSH-22102 – Chute de descarga atorado.
 - LSH-22103 – Nivel alto en la alimentación a la chancadora.
 - XS-22102 – Rotura de Faja detectada.
 - M-20228-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20228-OL – Motor sobrecargado.
 - CH-QUIJA-KM1 – Motor de chancadora de quijada detenido.
- **Enclavamientos (generan la parada del equipo):**
- SSL-22102 – Velocidad cero de Faja activo (deberá considerarse un retardo).
 - ZS1-22102 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22102 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22102 – Pul coord. de emergencia activado.
 - LSH-22102 – Chute de descarga atorado.
 - XS-22102 – Rotura de Faja detectada.
 - LSH-22103 – Nivel muy alto en la alimentación a la chancadora.
 - M-20228-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20228-OL – Motor sobrecargado.

- M-20228-KM – Motor de la propia Faja funcionando (deberá considerarse un retardo).
- CH-QUIJA-KM1 – Motor de chancadora de quijada detenido. Siempre que se active un enclavamiento, independientemente de si éste ha sido repuesto en campo o CCM, en el sistema de control se mantendrá activo dicho enclavamiento, hasta que el operador reconozca (resetee) el evento. Adicionalmente, esta Faja cuenta con una alarma auditiva y visual en campo (sirena y baliza), la cual es utilizada para:
 - Indicar que la Faja partirá. En este caso se deberá activar la alarma sonora de manera periódica (1 segundo encendida y 0.5 segundos apagada) por un lapso de 10 segundos.
 - Indicar que la Faja se ha detenido de manera imprevista por algún enclavamiento (según la lista de enclavamientos indicada). En éste caso la alarma se accionará de manera constante (encendida todo el tiempo), debiendo el operador silenciar la sirena mediante un mando virtual (desde el SCADA).

c) Chancadora de quijada

La chancadora de quijada (chancadora primario) recibe carga de la Faja Transportadora N° 2, a través de un chute de transferencia. La chancadora cuenta con un arrancador sin posibilidad de ser enlazado por comunicaciones a la red de CCM's, por lo tanto la operación de ésta chancadora será controlada desde el sistema de control instalado. Por otro lado, la chancadora no será afectada por las condiciones de operación de los demás equipos, ya que no es conveniente detener la chancadora con carga, es decir, si el equipo ubicado aguas debajo de la chancadora se detiene, deberá detenerse el equipo que alimenta a la chancadora, pero no la chancadora propiamente.

d) **Faja transportadora N° 3**

La faja transportadora N° 3 recibe carga de la chancadora de quijada (chancadora primario), a través de un chute de transferencia. En el sistema de control se deberán considerar las siguientes alarmas, permisivos y enclavamientos:

– **Alarmas (preventivo):**

- ZA1-22203 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cola.
- ZA2-22203 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
- M-20229-IAH – Alarma corriente alta, motor de Faja Transportadora N°3.

– **Permisivos (inhiben el arranque del equipo):**

- ZS1-22203 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
- ZS2-22203 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
- HSS-22203 – Pull cord de emergencia activado.
- M-20229-PE – Parada de emergencia activa.
- M-20229-OL – Motor sobrecargado.
- ZAR-SEC-KM1 – Motor de zaranda secundaria funcionando.

– **Enclavamientos (generan la parada del equipo):**

- SSL-22203 – Velocidad cero de Faja activo (deberá considerarse un retardo).
- ZS1-22203 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
- ZS2-22203 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
- HSS-22203 – Pull cord de emergencia activado.
- M-20229-PE – Parada de emergencia activa.
- M-20229-OL – Motor sobrecargado.

- M-20229-KM – Motor de la propia Faja funcionando (deberá considerarse un retardo).
- ZAR-SEC-KM1 – Motor de zaranda secundaria funcionando.
Comando (arranque/parada):
- M-20229-CM – Comando arranque/parada de motor de faja transportadora N° 3.

Siempre que se active un enclavamiento, independientemente de si éste ha sido repuesto en campo o CCM, en el sistema de control se mantendrá activo dicho enclavamiento, hasta que el operador reconozca (reseteo) el evento; es evidente que si el instrumento o arrancador que dio origen a la parada no ha sido repuesto (reseteado o corregido). Adicionalmente, esta Faja cuenta con una alarma auditiva y visual en campo (sirena y baliza), la cual es utilizada para:

- Indicar que la Faja partirá. En este caso se deberá activar la alarma sonora de manera periódica (1 segundo encendida y 0.5 segundos apagada) por un lapso de 10 segundos.
- Indicar que la Faja se ha detenido de manera imprevista por algún enclavamiento (según la lista de enclavamientos indicada). En éste caso la alarma se accionará de manera constante (encendida todo el tiempo), debiendo el operador silenciar la sirena mediante un mando virtual (desde el SCADA).

e) Cedazo Secundario

El Cedazo Secundario recibe carga de la Faja Transportadora N° 3, a través de un chute de transferencia. El cedazo secundario cuenta con un arrancador electrónico con posibilidad de ser enlazado por comunicaciones a la red de CCM's, por lo tanto la operación de éste cedazo será controlada desde el sistema de control instalado; sin embargo y de acuerdo a lo indicado en la secuencia de operación, este cedazo depende funcionalmente de la chancadora secundaria y de la

faja transportadora N° 7, tanto para el arranque como para su funcionamiento, por lo cual se deberá integrar a la lógica cableada del arrancador del cedazo secundario una señal que confirme que la chancadora secundaria y la faja transportadora N° 7 están funcionando.

- **Permisivos (inhiben el arranque del equipo):**
 - M-20281-53-KM1 – Motor de chancadora secundaria y faja transportadora N° 7 funcionando.
- **Enclavamientos (generan la parada del equipo):**
 - M-20281-53-KM1 – Motor de chancadora secundaria y faja transportadora N° 7 funcionando.

f) Faja transportadora N° 7

La faja transportadora N° 7 recibe carga del cedazo secundario, a través de un chute de transferencia. En el sistema de control se deberán considerar las siguientes alarmas, permisivos y enclavamientos:

- **Alarmas (preventivo):**
 - ZA1-22207 – Alarma desalineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZA2-22207 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - M-20253-IAH – Alarma corriente alta, motor de Faja Transportadora N° 7.
- **Permisivos (inhiben el arranque del equipo):**
 - ZS1-22207 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22207 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22207 – Pull cord de emergencia activado.
 - M-20253-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20253-OL – Motor sobrecargado.

- M-20234-KM – Motor de faja transportadora N° 9 funcionando.

– **Enclavamientos (generan la parada del equipo):**

- SSE-22207 – Velocidad cero de Faja activo (deberá considerarse un retardo).
 - ZS1-22207 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22207 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22207 – Pul coord. de emergencia activado.
 - M-20253-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20253-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20253-KM – Motor de la propia Faja funcionando (deberá considerarse un retardo).
 - M-20234-KM – Motor de faja transportadora N° 9 funcionando.
- Comando (arranque/parada):
- M-20253-CM – Comando arranque/parada de motor de faja transportadora N° 7.

Siempre que se active un enclavamiento, independientemente de si éste ha sido repuesto en campo o CCM, en el sistema de control se mantendrá activo dicho enclavamiento, hasta que el operador reconozca (reseteo) el evento; es evidente que si el instrumento o arrancador que dio origen a la parada no ha sido repuesto (reseteado o corregido) Adicionalmente, esta Faja cuenta con una alarma auditiva y visual en campo (sirena y baliza), la cual es utilizada para:

- Indicar que la Faja partirá. En este caso se deberá activar la alarma sonora de manera periódica (1 segundo encendida y 0.5 segundos apagada) por un lapso de 10 segundos.

- Indicar que la Faja se ha detenido de manera imprevista por algún enclavamiento (según la lista de enclavamientos indicada). En éste caso la alarma se accionará de manera constante (encendida todo el tiempo), debiendo el operador silenciar la sirena mediante un mando virtual (desde el SCADA).

g) Chancadora secundaria

La chancadora secundaria recibe carga del cedazo secundario, a través de un chute de transferencia. En el sistema de control se deberán considerar las siguientes alarmas, permisos y enclavamientos:

– **Alarmas (preventivo):**

- TAH-22201A – Alarma de temperatura alta, fase R de motor de chancadora.
- TAH-22201B – Alarma de temperatura alta, fase S de motor de chancadora.
- TAH-22201C – Alarma de temperatura alta, fase T de motor de chancadora.
- TAH-22202A – Alarma de temperatura alta, rodamiento (lado libre) de motor de chancadora.
- TAH-22202B – Alarma de temperatura alta, rodamiento (lado acople) de motor de chancadora.
- VAH-22201 – Alarma de vibración alta en motor de chancadora.
- PAL-22201A – Alarma filtro “A” de aceite de lubricación sucio (requiere limpieza).
- PAL-22201B – Alarma filtro “B” de aceite de lubricación sucio (requiere limpieza).
- M-20281-IAH – Alarma corriente alta, motor de chancadora secundaria.

– **Permisivos (inhiben el arranque del equipo):**

- TAHH-22201A –Temperatura muy alta, fase R de motor de chancadora.
 - TAHH-22201B – Temperatura muy alta, fase S de motor de chancadora.
 - TAHH-22201C – temperatura muy alta, fase T de motor de chancadora.
 - TAHH-22202A – Temperatura muy alta, rodamiento (lado libre) de motor de chancadora.
 - TAHH-22202B – Temperatura muy alta, rodamiento (lado acople) de motor de chancadora.
 - VAHH-22201 – Vibración muy alta en motor de chancadora.
 - TSH-22203A – Temperatura de aceite de retorno a unidad hidráulica muy alta (>63°C).
 - TSH-22203C – Temperatura de aceite en reservorio de unidad hidráulica menor a 30 °C.
 - FSL-22201 – Flujo de aceite de retorno a unidad hidráulica muy bajo.
 - M-20281A-KM – Motor de unidad de lubricación detenido.
 - M-20230-KM – Motor de Faja Transportadora N° 4 detenido.
- **Enclavamientos (generan la parada del equipo):**
- TAHH-22201A –Temperatura muy alta, fase R de motor de chancadora.
 - AHH-22201B – Temperatura muy alta, fase S de motor de chancadora.
 - TAHH-22201C – temperatura muy alta, fase T de motor de chancadora.
 - TAHH-22202A – Temperatura muy alta, rodamiento (lado libre) de motor de chancadora.
 - TAHH-22202B – Temperatura muy alta, rodamiento (lado acople) de motor de chancadora.

- VAHH-22201 – Vibración muy alta en motor de chancadora.
- TSH-22203A – Temperatura de aceite de retorno a unidad hidráulica muy alta (>63 °C).
- FSL-22201 – Flujo de aceite de retorno a unidad hidráulica muy bajo.
- M-20281A-KM – Motor de unidad de lubricación detenido.
- M-20281-KM – Motor de la propia chancadora funcionando (deberá considerarse un retardo).

Siempre que se active un enclavamiento, independientemente de si éste ha sido repuesto en campo o CCM, en el sistema de control se mantendrá activo dicho enclavamiento, hasta que el operador reconozca (reseteo) el evento; es evidente que si el instrumento o arrancador que dio origen a la parada no ha sido repuesto (reseteado o corregido) Adicionalmente, esta chancadora cuenta con una alarma auditiva (sirena), la cual es utilizada para:

Indicar que la chancadora secundaria partirá. En este caso se deberá activar la alarma sonora de manera periódica (1 segundo encendida y 0.5 segundos apagada) por un lapso de 10 segundos. Indicar que la chancadora secundaria se ha detenido de manera imprevista por algún enclavamiento (según la lista de enclavamientos indicada). En éste caso la alarma se accionará de manera constante (encendida todo el tiempo), debiendo el operador silenciar la sirena mediante un mando virtual (desde SCADA).

La chancadora, cuenta con una serie de equipos auxiliares cuyo funcionamiento junto con la secuencia de arranque del motor principal de la chancadora se describen a continuación:

- Si la temperatura del aceite contenido en el reservorio de la unidad hidráulica es menor a 30°C (medido por el termostato TSH-22203C), se deberá activar el calefactor del reservorio de aceite automáticamente. Cuando el termostato detecta una

temperatura mayor a los 30 ° C, el calefactor deberá desactivarse automáticamente,

- Una vez que la temperatura del aceite es mayor a 30°C, se procede a partir el motor de lubricación de la chancadora ivi-20281A-CM (siempre y cuando éste se encuentre habilitado). Luego de unos segundos de arrancado el motor de lubricación, se debe activar automáticamente la señal de flujo bajo (FSL-22201), ya que el aceite retomar al reservorio de la unidad hidráulica. Teniendo flujo de retorno se podrá medir la temperatura del aceite que retorna al reservorio.
- Estando el motor del sistema de lubricación trabajando, la temperatura por debajo de 63°C (TSH-22203A) y contando con flujo de aceite de retorno al reservorio del sistema hidráulico, se habilita el arranque del motor principal de la chancadora secundaria. El arranque puede ser realizado por el operador desde el sistema SCADA, o programado en el sistema de control para que sea realizado de manera automática al establecerse las señales que habilitan el arranque.
- Al arrancar el motor principal de la chancadora secundaria, se activa la señal de confirmación de motor funcionando de dicho motor (M-20281-KM), ésta señal genera el arranque automático del motor de sobre presión de aceite (M-20281E-CM) y el motor de la bomba de aceite para piñón (M-20281D-CM).
- Si durante la operación se detecta temperatura en el aceite de lubricación >45°C (detectado por el termostato TSH-22203B), se deberá encender automáticamente el ventilador para refrigeración de aceite (M-20281B-CM), y deberá permanecer

encendido hasta que la temperatura descienda y se desactive el termostato TSH-22203B.

- Adicionalmente se cuenta con dos interruptores de presión diferencial (PAL-22201A y PAL-22201B) instalados en la línea de impulsión para lubricación de la chancadora. Estos interruptores se activan cuando el filtro correspondiente a cada línea se ensucia demasiado, disminuyendo la presión a la descarga del filtro. La señal originada servirá como alarma para indicar que el filtro correspondiente está sucio y debe ser purgado,

En caso se requiera detener la chancadora, el operador deberá proceder de la siguiente manera:

- a) Detener la alimentación de material a la chancadora secundaria.
- b) Verificar que la chancadora haya descargado por completo.
- c) Detener el motor principal de la chancadora secundaria.
- d) Automáticamente, luego de detenido el motor principal de la chancadora, el motor de la bomba de lubricación de aceite para piñón se detendrá, y luego de 3 minutos el motor de sobre presión de aceite también se detendrá.
- e) Por seguridad, para lubricación y refrigeración de la chancadora, se debe considerar un enclavamiento que inhabilite la parada del motor de lubricación por un periodo de 10 minutos de haberse detenido el motor principal de la chancadora.

h) Faja transportadora N° 4

La Faja Transportadora N° 4 recibe carga de la Chancadora Secundaria, a través de un chute de transferencia. En el sistema de control se deberán considerar las siguientes alarmas, permisos y enclavamientos:

- **Alarmas (preventivo):**
 - ZA1-22204 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZA2-22204 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - M-20230-IAH – Alarma corriente alta, motor de Faja Transportadora N° 4.
 - **Permisivos (inhiben el arranque del equipo):**
 - ZS1-22204 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22204 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22204 – Pul coord. de emergencia activado.
 - M-20230-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20230-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20231-KM – Motor de faja transportadora N° 5 funcionando.
 - **Enclavamientos (generan la parada del equipo):**
 - SSL-22204 – Velocidad cero de Faja activo (deberá considerarse un retardo).
 - ZS1-22204 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22204 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22204 – Pul coord. de emergencia activado.
 - M-20230-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20230-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20230-KM – Motor de la propia Faja funcionando (deberá considerarse un retardo).
 - M-20231-KM – Motor de faja transportadora N° 5 funcionando.
- Comando (arranque/parada):

- M-20230-CM – Comando arranque/parada de motor de faja transportadora N° 4.

Siempre que se active un enclavamiento, independientemente de si éste ha sido repuesto en campo o CCMI, en el sistema de control se mantendrá activo dicho enclavamiento, hasta que el operador reconozca (reseteo) el evento; es evidente que si el instrumento o arrancador que dio origen a la parada no ha sido repuesto (reseteado o corregido). Adicionalmente, esta Faja cuenta con una alarma auditiva y visual en campo (sirena y baliza), la cual es utilizada para:

- Indicar que la Faja partirá. En este caso se deberá activar la alarma sonora de manera periódica (1 segundo encendida y 0.5 segundos apagada) por un lapso de 10 segundos.
- Indicar que la Faja se ha detenido de manera imprevista por algún enclavamiento (según la lista de enclavamientos indicada). En éste caso la alarma se accionará de manera constante (encendida todo el tiempo), debiendo el operador silenciar la sirena mediante un mando virtual (desde el SCADA).

i) Faja transportadora N° 5

La Faja Transportadora N° 5 recibe carga de las fajas transportadoras N° 4 y N° 8A, a través de chutes de transferencia. En el sistema de control se deberán considerar las siguientes alarmas, permisivos y enclavamientos:

– **Alarmas (preventivo):**

- ZA1-22305 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cola.
- ZA2-22305 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
- M-20231-IAH – Alarma corriente alta, motor de Faja Transportadora N°5.

– **Permisivos (inhiben el arranque del equipo):**

- ZS1-22305 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.

- ZS2-22305 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22305 – Pul coord. de emergencia activado.
 - M-20231-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20231-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20232-KM – Motor de faja transportadora N° 6 funcionando,
 - ENC-LOG - Endclavamiento lógico del sistema (ver nota 1).
- **Enclavamientos (generan la parada del equipo):**
- SSL-22305 – Velocidad cero de Faja activo (deberá considerarse un retardo).
 - ZS1-22305 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22305 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22305 – Pul coord. de emergencia activado.
 - M-20231-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20231-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20231-KM – Motor de la propia Faja funcionando (deberá considerarse un retardo).
 - M-20232-KM – Motor de faja transportadora N° 6 funcionando.
 - ENC-LOG - Endclavamiento lógico del sistema (ver nota 1).
- Comando (arranque/parada):
- M-20231-CM – Comando arranque/parada de motor de faja transportadora N° 5.

Siempre que se active un enclavamiento, independientemente de si éste ha sido repuesto en campo o CCM, en el sistema de control se mantendrá activo dicho enclavamiento, hasta que el operador reconozca (reseteo) el evento; es evidente que si el instrumento o arrancador que dio origen a la parada no ha sido repuesto (reseteado

o corregido). Adicionalmente, esta Faja cuenta con una alarma auditiva y visual en campo (sirena y baliza), la cual es utilizada para:

- Indicar que la Faja partirá. En este caso se deberá activar la alarma sonora de manera periódica (1 segundo encendida y 0.5 segundos apagada) por un lapso de 10 segundos.
- Indicar que la Faja se ha detenido de manera imprevista por algún enclavamiento (según la lista de enclavamientos indicada). En éste caso la alarma se accionará de manera constante (encendida todo el tiempo), debiendo el operador silenciar la sirena mediante un mando virtual (desde el SCADA).

Nota1:

Debido a que el circuito de chancado terciario genera un bucle o realimentación, formado por los equipos:

- Faja transportadora N° 5.
- Faja transportadora N° 6.
- Faja transportadora N° 6A.
- Cedazo terciario.
- Chancadora terciaria.
- Faja transportadora N° 8.
- Faja transportadora N° 8A.

Se deberá configurara un enclavamiento (parada) adicional. Este enclavamiento debe considerar lo siguiente: si todos los equipos indicados están operando y uno de éstos se detiene, todos los demás equipos deberán también detenerse al mismo tiempo, con excepción de la chancadora terciaria.

j) Faja Transportadora N° 6

La Faja Transportadora N° 6 recibe carga de las fajas transportadoras N° 5, a través de un chute de transferencia. En el sistema de control se deberán considerar las siguientes alarmas, permisos y enclavamientos:

- **Alarmas (preventivo):**

- ZA1-22306 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZA2-22306 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - M-20232-IAH – Alarma corriente alta, motor de Faja Transportadora N° 6.
- **Permisivos (inhiben el arranque del equipo):**
- ZS1-22306 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22306 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22306 – Pul coord. de emergencia activado.
 - M-20232-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20232-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20213-KM – Motor de faja transportadora N° 6B funcionando,
 - ENC-LOG - Enclavamiento lógico del sistema (ver nota 1).
- **Enclavamientos (generan la parada del equipo):**
- SSL-22306 – Velocidad cero de Faja activo (deberá considerarse un retardo).
 - ZS1-22306 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22306 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22306 – Pul coord. de emergencia activado.
 - M-20232-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20232-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20232-KM – Motor de la propia Faja funcionando (deberá considerarse un retardo).
 - M-20213-KM – Motor de faja transportadora N° 6 funcionando,

- ENC-LOG - Enclavamiento lógico del sistema (ver nota 1).

Comando (arranque/parada):

- M-20232-CM – Comando arranque/parada de motor de faja transportadora N° 6,

Siempre que se active un enclavamiento, independientemente de si éste ha sido repuesto en campo o CCM, en el sistema de control se mantendrá activo dicho. Enclavamiento, hasta que el operador reconozca (reseteo) el evento; es evidente que si el instrumento o arrancador que dio origen a la parada no ha sido repuesto (reseteado o corregido). Adicionalmente, esta Faja cuenta con una alarma auditiva y visual en campo (sirena y baliza), la cual es utilizada para:

- Indicar que la Faja partirá. En este caso se deberá activar la alarma sonora de manera periódica (1 segundo encendida y 0.5 segundos apagada) por un lapso de 10 segundos.
- Indicar que la Faja se ha detenido de manera imprevista por algún enclavamiento (según la lista de enclavamientos indicada). En éste caso la alarma se accionará de manera constante (encendida todo el tiempo), debiendo el operador silenciar la sirena mediante un mando virtual (desde el SCADA).

Se deberá configurar un enclavamiento (parada) adicional. Este enclavamiento debe considerar lo siguiente: si todos los equipos indicados están operando y uno de éstos se detiene, todos los demás equipos deberán también detenerse al mismo tiempo, con excepción de la chancadora terciaria.

k) Faja transportadora N° 6B

La Faja Transportadora N° 6B recibe carga de las fajas transportadoras N° 6, a través de un chute de transferencia. En el sistema de control se deberán considerar las siguientes alarmas, permisivos y enclavamientos:

- Alarmas (preventivo):

- ZA1-22306B – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZA2-22306B – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - M-20213-IAH – Alarma corriente alta, motor de Faja Transportadora N°6B.
- **Permisivos (inhiben el arranque del equipo):**
- ZS1-22306B – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22306B – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22306B – Pull cord de emergencia activado.
 - M-20213-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20213-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20212-KM – Motor de cedazo terciario funcionando.
 - ENC-LOG - Endavamiento lógico del sistema (ver nota 1).
- **Enclavamientos (generan la parada del equipo):**
- SSL-22306B – Velocidad cero de Faja activo (deberá considerarse un retardo).
 - ZS1-22306B – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22306B – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22306B – Pull cord de emergencia activado.
 - M-20213-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20213-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20213-KM – Motor de la propia Faja funcionando (deberá considerarse un retardo).
 - M-20212-KM – Motor de cedazo terciario funcionando.
 - ENC-LOG - Endavamiento lógico del sistema (ver nota 1).
- Comando (arranque/parada):

- M-20213-CM – Comando arranque/parada de motor de faja transportadora N° 6B.

Siempre que se active un enclavamiento, independientemente de si éste ha sido repuesto en campo o CCM, en el sistema de control se mantendrá activo dicho enclavamiento, hasta que el operador reconozca (resetee) el evento; es evidente que si el instrumento o arrancador que dio origen a la parada no ha sido repuesto (reseteado o corregido). Adicionalmente, esta Faja cuenta con una alarma auditiva y visual en campo (sirena y baliza), la cual es utilizada para:

- Indicar que la Faja partirá. En este caso se deberá activar la alarma sonora de manera periódica (1 segundo encendida y 0.5 segundos apagada) por un lapso de 10 segundos.
- Indicar que la Faja se ha detenido de manera imprevista por algún enclavamiento (según la lista de enclavamientos indicada). En éste caso la alarma se accionará de manera constante (encendida todo el tiempo), debiendo el operador silenciar la sirena mediante un mando virtual (desde el SCADA).

Se deberá configurar un enclavamiento (parada) adicional. Este enclavamiento debe considerar lo siguiente: si todos los equipos indicados están operando y uno de éstos se detiene, todos los demás equipos deberán también detenerse al mismo tiempo, con excepción de la chancadora terciaria.

1) Cedazo terciario

El cedazo terciario recibe carga de las fajas transportadoras N° 6B, a través de un chute de transferencia. En el sistema de control se deberán considerar las siguientes alarmas, permisos y enclavamientos:

– Alarmas (preventivo):

- M-20212-IAH – Alarma corriente alta, motor del cedazo terciario.
-

- **Permisivos (inhiben el arranque del equipo):**
 - M-20212-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20212-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20233-KM – Motor de la faja transportadora N° 7A funcionando.
 - CH-TERC-KM1 – Motor de chancadora terciaria funcionando.
- **Enclavamientos (generan la parada del equipo):**
 - M-20212-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20212-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20212-KM – Motor del propio cedazo (deberá considerarse un retardo).
 - M-20233-KM – Motor de la faja transportadora N° 7A funcionando.
 - CH-TERC-KM1 – Motor de chancadora terciaria funcionando.

m) Chancadora terciaria Metso HP500

La chancadora terciaria (Metso HP500) recibe carga del Cedazo Terciario, a través de un chute de transferencia. La chancadora cuenta con un arrancador sin posibilidad de ser enlazado por comunicaciones a la red de CCMs, por lo tanto la operación de ésta chancadora no será controlada desde el sistema de control a ser instalado. Por otro lado, la chancadora no será afectada por las condiciones de operación de los demás equipos, ya que no es conveniente detener la chancadora con carga, es decir, si el equipos ubicado aguas debajo de la chancadora se detiene, deberá detenerse el equipo que alimenta a la chancadora, pero no la chancadora propiamente.

n) Faja Transportadora N° 8

La Faja Transportadora N° 8 recibe carga de la chancadora terciaria, a través de un chute de transferencia. En el sistema de control se deberán considerar las siguientes alarmas, permisivos y enclavamientos:

- **Alarmas (preventivo):**
 - ZA1-22308 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZA2-22308 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - M-20254-IAH – Alarma corriente alta, motor de Faja Transportadora N° 8.
- **Permisivos (inhiben el arranque del equipo):**
 - ZS1-22308 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22308 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22308 – Pull cord de emergencia activado.
 - M-20254-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20254-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20215-KM – Motor de faja transportadora N° 8A funcionando.
 - ENC-LOG - Endavamiento lógico del sistema (ver nota 1).
- **Enclavamientos (generan la parada del equipo):**
 - SSL-22308 – Velocidad cero de Faja activo (deberá considerarse un retardo).
 - ZS1-22308 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22308 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22308 – Pull cord de emergencia activado.
 - M-20254-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20254-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20254-KM – Motor de la propia Faja funcionando (deberá considerarse un retardo).

- M-20215-KM – Motor de faja transportadora N° 8A funcionando.
- ENC-LOG - Enclavamiento lógico del sistema (ver nota 1).
Comando (arranque/parada):
- M-20254-CM – Comando arranque/parada de motor de faja transportadora N° 8.

Siempre que se active un enclavamiento, independientemente de si éste ha sido repuesto en campo o CCM, en el sistema de control se mantendrá activo dicho enclavamiento, hasta que el operador reconozca (reseteo) el evento; es evidente que si el instrumento o arrancador que dio origen a la parada no ha sido repuesto (reseteado o corregido). Adicionalmente, esta Faja cuenta con una alarma auditiva y visual en campo (sirena y baliza), la cual es utilizada para:

- Indicar que la Faja partirá. En este caso se deberá activar la alarma sonora de manera periódica (1 segundo encendida y 0.5 segundos apagada) por un lapso de 10 segundos.
- Indicar que la Faja se ha detenido de manera imprevista por algún enclavamiento (según la lista de enclavamientos indicada). En éste caso la alarma se accionará de manera constante (encendida todo el tiempo), debiendo el operador silenciar la sirena mediante un mando virtual (desde el SCADA).

Se deberá configurar un enclavamiento (parada) adicional. Este enclavamiento debe considerar lo siguiente: si todos los equipos indicados están operando y uno de éstos se detiene, todos los demás equipos deberán también detenerse al mismo tiempo, con excepción de la chancadora terciaria. En lógica sería:

o) Faja transportadora N° 8A

La Faja Transportadora N° 8A recibe carga de la faja transportadora N° 8, a través de un chute de transferencia. Esta faja no depende funcionalmente de otra faja para arrancar. En el sistema de control se

deberán considerar las siguientes alarmas, permisos y enclavamientos:

– **Alarmas (preventivo):**

- ZA1-22308A – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cola,
- ZA2-22308A – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cabeza,
- M-20215-IAH – Alarma corriente alta, motor de Faja Transportadora N° 8A.

– **Permisivos (inhiben el arranque del equipo):**

- ZS1-22308A – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola,
- ZS2-22308A – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza,
- HSS-22308A – Pull cord de emergencia activado,
- M-20215-PE – Parada de emergencia activa,
- M-20215-OL – Motor sobrecargado,
- ENC-LOG - Enclavamiento lógico del sistema (ver nota 1).

– **Enclavamientos (generan la parada del equipo):**

- SSL-22308A – Velocidad cero de Faja activo (deberá considerarse un retardo).
- ZS1-22308A – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
- ZS2-22308A – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
- HSS-22308A – Pull cord de emergencia activado.
- M-20215-PE – Parada de emergencia activa.
- M-20215-OL – Motor sobrecargado.
- M-20215-KM – Motor de la propia Faja funcionando (deberá considerarse un retardo).

- ENC-LOG - Enclavamiento lógico del sistema (ver nota 1).
Comando (arranque/parada):
- M-20215-CM – Comando arranque/parada de motor de faja transportadora N° 8A.

Siempre que se active un enclavamiento, independientemente de si éste ha sido repuesto en campo o CCM, en el sistema de control se mantendrá activo dicho enclavamiento, hasta que el operador reconozca (reseteo) el evento; es evidente que si el instrumento o arrancador que dio origen a la parada no ha sido repuesto (reseteado o corregido). Adicionalmente, esta Faja cuenta con una alarma auditiva y visual en campo (sirena y baliza), la cual es utilizada para:

- Indicar que la Faja partirá. En este caso se deberá activar la alarma sonora de manera periódica (1 segundo encendida y 0.5 segundos apagada) por un lapso de 10 segundos.
- Indicar que la Faja se ha detenido de manera imprevista por algún enclavamiento (según la lista de enclavamientos indicada). En éste caso la alarma se accionará de manera constante (encendida todo el tiempo), debiendo el operador silenciar la sirena mediante un mando virtual (desde el SCADA).

Se deberá configurar un enclavamiento (parada) adicional. Este enclavamiento debe considerar lo siguiente: si todos los equipos indicados están operando y uno de éstos se detiene, todos los demás equipos deberán también detenerse al mismo tiempo, con excepción de la chancadora terciaria. En lógica sería:

p) Faja transportadora N° 7A

La Faja Transportadora N° 7A recibe carga del cedazo terciario, a través de un chute de transferencia. En el sistema de control se deberán considerar las siguientes alarmas, permisos y enclavamientos:

- **Alarmas (preventivo):**
 - ZA1-22307A – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cola.

- ZA2-22307A – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - M-20233-IAH – Alarma corriente alta, motor de Faja Transportadora N° 7A.
- **Permisivos (inhiben el arranque del equipo):**
- ZS1-22307A – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22307A – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22307A – Pull cord de emergencia activado.
 - M-20233-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20233-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20234-KM – Motor de faja transportadora N° 9 funcionando.
- **Enclavamientos (generan la parada del equipo):**
- SSL-22307A – Velocidad cero de Faja activo (deberá considerarse un retardo).
 - ZS1-22307A – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22307A – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22307A – Pull cord de emergencia activado.
 - M-20233-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20233-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20233-KM – Motor de la propia Faja funcionando (deberá considerarse un retardo).
 - M-20234-KM – Motor de faja transportadora N° 9 funcionando.
- Comando (arranque/parada):
- M-20233-CM – Comando arranque/parada de motor de faja transportadora N° 7A.

Siempre que se active un enclavamiento, independientemente de si éste ha sido repuesto en campo o CCM, en el sistema de control se mantendrá activo dicho enclavamiento, hasta que el operador reconozca (reseteo) el evento; es evidente que si el instrumento o arrancador que dio origen a la parada no ha sido repuesto (reseteado o corregido). Adicionalmente, esta Faja cuenta con una alarma auditiva y visual en campo (sirena y baliza), la cual es utilizada para:

- Indicar que la Faja partirá. En este caso se deberá activar la alarma sonora de manera periódica (1 segundo encendida y 0.5 segundos apagada) por un lapso de 10 segundos.
- Indicar que la Faja se ha detenido de manera imprevista por algún enclavamiento (según la lista de enclavamientos indicada). En éste caso la alarma se accionará de manera constante (encendida todo el tiempo), debiendo el operador silenciar la sirena mediante un mando virtual (desde el SCADA).

q) Faja transportadora N° 7A

La Faja Transportadora N° 9 recibe carga del cedazo terciario, a través de un chute de transferencia. Esta faja no depende funcionalmente de otra faja para arrancar. En el sistema de control se deberán considerar las siguientes alarmas, permisos y enclavamientos:

– Alarmas (preventivo):

- ZA1-22309 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cola.
- ZA2-22309 – Alarma des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
- M-20234-IAH – Alarma corriente alta, motor de Faja Transportadora N° 9.

– Permisivos (inhiben el arranque del equipo):

- ZS1-22309 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
- ZS2-22309 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.

- HSS-22309 – Pull cord de emergencia activado.
 - M-20234-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20234-OL – Motor sobrecargado.
- **Enclavamientos (generan la parada del equipo):**
- SSL-22309 – Velocidad cero de Faja activo (deberá considerarse un retardo).
 - ZS1-22309 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cola.
 - ZS2-22309 – Tripeo por des alineamiento de Faja, lado de cabeza.
 - HSS-22309 – Pull cord de emergencia activado.
 - M-20234-PE – Parada de emergencia activa.
 - M-20234-OL – Motor sobrecargado.
 - M-20234-KM – Motor de la propia Faja funcionando (deberá considerarse un retardo).

Comando (arranque/parada):

M-20234-CM – Comando arranque/parada de motor de faja transportadora N° 9, Siempre que se active un enclavamiento, independientemente de si éste ha sido repuesto en campo o CCM, en el sistema de control se mantendrá activo dicho enclavamiento, hasta que el operador reconozca (reseteo) el evento; es evidente que si el instrumento o arrancador que dio origen a la parada no ha sido repuesto (reseteado o corregido). Adicionalmente, esta Faja cuenta con una alarma auditiva y visual en campo (sirena y baliza), la cual es utilizada para:

- Indicar que la Faja partirá. En este caso se deberá activar la alarma sonora de manera periódica (1 segundo encendida y 0,5 segundos apagada) por un lapso de 10 segundos.
- Indicar que la Faja se ha detenido de manera imprevista por algún enclavamiento (según la lista de enclavamientos indicada). En éste

caso la alarma se accionará de manera constante (encendida todo el tiempo), debiendo el operador silenciar la sirena mediante un mando virtual (desde el SCADA).

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. Hipótesis general

- La implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, mejora la producción de chancado de mineral y permite optimizar el tiempo con la ubicación e identificación de fallas en tiempo real, en la unidad Retama de la Mina MARSÁ

2.3.2. Hipótesis específica

- Con la implementación de la arquitectura de control basado en la red industrial redundante, se mejora la producción de chancado de mineral en más del 8%, en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSÁ.
- Con la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, se mejora significativamente la ubicación e identificación de las fallas en tiempo real en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSÁ.

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.4.1. Arquitectura de control:

Es una arquitectura de control basado en redes industriales, teniendo las posibilidades de poder controlar los centro de control de motores con una red industrial llamada DeviceNet por estas red se puede controlar todo los parámetros de los arrancadores directos con relés inteligentes, Variadores de velocidad y Soft Starter hasta 64 equipos o también conocidos como nodos, y además a red industrial está incluida un red EtherNet para todo los Flex I/O también llamados los Rio que monitorizar los instrumento de

campos, como las señales de temperatura velocidad, cantidad de carga y fallas también tiene la función de un interlock para equipos que no están involucrado dentro la red se considera un cableado para dar un permisivo o enclavamiento dentro el proceso. También de vital importancia de esta arquitectura de control tiene sistemas redundantes para que el sistema no tenga ninguna caída durante el chancado, esta arquitectura de control tienes Swich industriales para una futura ampliación a DCS esto involucra que se puede integrar todo el sistemas como es Molienda, Flotación, Esperadores, filtrados y otras áreas relacionados hala planta de producción.

2.4.2. Producción de chancado de mineral:

Es la producción de trituración mineral en toneladas por día es de vital importancia el área de chancado, teniendo varias etapas dentro de ellas son Chancado Primario, Chancado secundario, terciario y la tolva de finos. El ingreso del mineral al chancado primario es como máximo de 15 pulgadas, teniendo en la tova de finos como máximo de 3/8 pulgadas eso por la eficiencia de todos el chancado teniendo esta eficiencia hace que la recuperación de mineral en molienda y flotación sea mayor en la concentración de Oro.

2.4.3. Identificación de fallas para un mantenimiento en tiempo real:

La detección de la falla, su ubicación en el sistema de chancado y su muestra en la pantalla y los módulos remotas de campo "RtOs" en el tiempo de milisegundos además se tendrá un histórico de la fallas, esto hace que el mantenimiento se realice en funcionamiento de toda la planta además teniendo toda la información necesaria para no afectar la producción.

redundantes, por lo que no hay un único punto de falla, Cuentan con una pantalla de diagnóstico mejorada (que se utiliza con la herramienta de configuración del módulo de redundancia) que reduce el tiempo de resolución de problemas; los PLC Allen Bradley con la redundancia no favorece en estas condiciones si PLC primario cae por problemas X entra en funcionamiento el secundario tomando datos principales sin afectar la producción.

Admiten arquitecturas de controladores completamente redundantes sin necesidad de programación adicional. Los programas se cargan automáticamente desde el controlador primario al secundario. El controlador primario actualiza automáticamente el secundario con cambios en los datos para mantener la sincronización de los controladores. Si el primario falla, el control cambia automáticamente al secundario y las funciones de prioridad más alta se garantizan con una 'transferencia sin perturbaciones'. La redundancia de los controladores es transparente para cualquier dispositivo conectado a través de una red Ethernet/IP o ControlNet. Seleccione el módulo de redundancia de entorno extremo ControlLogix

2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Las variables identificadas que permitieron demostrar las hipótesis son los siguientes:

2.5.1. Variables independientes

Arquitectura de control basado en redes industriales =ACBRI

2.5.2. Variables dependientes

Producción de chancado de mineral =PCM

Identificación y ubicación de fallas en tiempo real =IUFTR

2.6. DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES

Tabla 2.5. Operacionalización de las variables

Variable	Definición Operacional	Indicador	Categoría o Escala	Criterio de Medición de las categorías
Variable Independiente (causa)				
Arquitectura de control basado en redes industriales	Instalación de la Arquitectura digital	Control de la producción	Bueno Malo	Buen Control Mal Control
Variable dependiente (efecto)				
Producción de chancado de mineral	Medición de la producción del chancado de mineral	Numero de toneladas por día	Baja <3800 T/día Media 4500 T/día Alta >5600 T/día	T/día
Identificación y ubicación de fallas en tiempo real	Observación de la Identificación y ubicación de fallas	Número de fallas identificadas y número de fallas ubicadas por semana	Tiempo manual de identificación y ubicación de fallas Tiempo real de identificación y ubicación de fallas	Tiempo de identificación y ubicación de fallas
Operacionalización: $PCM = f(ACBRI)$ $IUFTR = f(ACBRI)$				

Fuente: Elaborado por el investigador.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El ámbito de estudio donde se desarrolló el proyecto está enmarcado en:

Distrito : Parcoy.
 Provincia : Pataz.
 Región : La Libertad.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se empleó el tipo de investigación Tecnológica, porque se cuenta en el mercado mundial con redes industriales, las comunicaciones permite controlar a equipos que están en la sala eléctrica y campo, con la tecnología siguiente:

- DeviceNet: tipo de comunicación industrial para todo los arrancadores electrónicos, variadores de velocidad, Soft Star y relay de protección.
- Fibra óptica: para las comunicaciones del tablero comunicación con el PLC y El SCADA, basado en la plataforma FactoryTalkView y los módulos remotas.
- Ethernet/IP: tipo de comunicación para en anillo para los módulos remotos que existen 3 en campo y con la opción de aumentar más RIOs.
- Los PLC de que se utilizaron de la marca ALLEN BRADLEY con CPU L71 para el cual se implementó con módulos redundantes con el fin que el sistema no penga tiempos muertos.
- Módulos remotas estrictamente para instrumentos de campo recepción de y envió de datos.

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es explicativo - correlacional, ya que en la investigación explica la relación entre la producción de chancado de mineral con la nueva arquitectura de control basado en redes industriales instalado, el módulos de comunicación de DeviceNet realiza un escaneo y Envío de señal de todo los arrancadores electrónicos que tiene que controlar las falla, todo los parámetros que se requiere para su mejor control como corriente, potencia y otros parámetros; Los módulos remotas hacen un escaneo envió de señal de todo los equipos que están en campo si están en funcionamiento o falla; El PLC Logix L63 es el encargado del control lógico, teniendo dos formas de arrancar en proceso: Automático y Manual; La plataforma desarrollada en FactoryTalkView es la encargada de la supervisión de todo el proceso que está en funcionamiento, permitiendo controlar el proceso de chancado.

3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se empleó los siguientes métodos:

- Método comparativo: con este método se tomó las muestras durante 14 semanas de la producción de chancado de mineral sin el sistema de control instalo y luego se tomó muestras con el sistema de control basado en redes industriales instalado, en el mismo número de semanas; luego se hace la comparación de las medias y se observó que aumenta la producción significativamente; así mismo se hace para la ubicación e identificación de fallas.
- Método Prueba y error: con este método se realizaron pruebas del sistema antes de su operación "pre comisionados" para poder realizar las pruebas se inspeccionaron todos los equipos y el "protocolos de Pruebas" de cada equipó involucrado en todo el sistema, como los escaneos de las comunicaciones DeviceNet; los instrumentos de campo iniciando con la calibración de instrumentos, envió de señales a los módulos remotas y de los módulos remotas al PLC.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación al hacer uso del método experimental, donde se toma los datos antes del experimento y se hace las observaciones "O1", luego se hace el experimento al mismo grupo y se observa "O2" y luego comparamos las observaciones e inferimos los resultados de los datos.

Se usó el diseño con grupo experimental antes "pre test" y después del experimento "post test". Para ello usamos un grupo aleatorios GE de la población en estudio, el diseño se muestra en la figura 3.1.

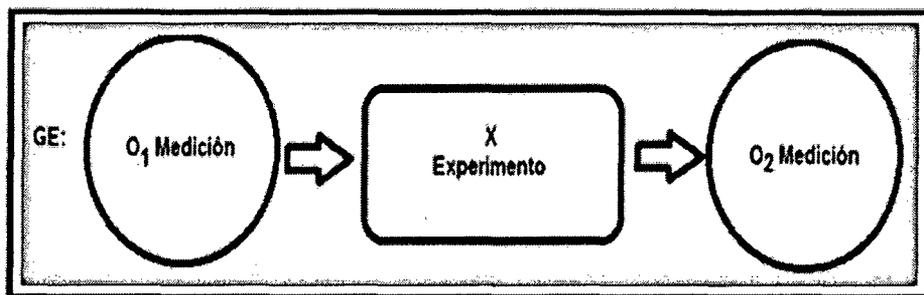


Figura 3.1. Método de experimental (Fuente: Elaborado por el investigador).

En el desarrollo de la presente investigación se establecerá el diseño de investigación SERIES CRONOLÓGICAS como modelo para el proceso de medición de las variables; éste diseño permitiría realizar el seguimiento cronológico y la temporización de las lecturas de datos de las variables producción, determinación de fallas en el proceso. El análisis y muestreo de información efectuara para cada una de las variables en distintos tiempos según la siguiente configuración:

PMC →	O _{prec} 1, O _{prec} 2, O _{prec} 3 O _{prec} 4 O _{prec} 5 O _{prec} 6...	O _{prec} n-1
	O _{postc} 1, O _{postc} 2, O _{postc} 3 O _{postc} 4 O _{postc} 5 O _{postc} 6	O _{postc} n-1
IUFTR →	O _{pref} 1, O _{pref} 2, O _{pref} 3 O _{pref} 4 O _{pref} 5 O _{pref} 6...	O _{pref} n-1
	O _{postf} 1, O _{postf} 2, O _{postf} 3 O _{postf} 4 O _{postf} 5 O _{postf} 6	O _{postf} n-1

PCM = Producción de Chancado de Mineral

IUFTR= Identificación y ubicación de fallas en tiempo real.

GE: Grupo de producción de chancado de mineral experimental

$Q_{\text{pre}i}$: Producción de chancado de mineral Pre-prueba (sin la aplicación del sistema de control de redes industriales); $i=1,2,3, \dots n-1$

$Q_{\text{post}i}$: Producción de chancado de mineral Post-prueba (con la aplicación del sistema de control de redes industriales); $i=1,2,3, \dots n-1$

GE: Grupo de fallas en la producción de chancado de mineral experimental.

$Q_{\text{pref}i}$: Identificación de y ubicación de fallas, en la producción de chancado de mineral Pre-prueba (sin la aplicación del sistema de control de redes industriales); $i=1,2,3, \dots n-1$

$Q_{\text{post}i}$: Identificación de y ubicación de fallas, en la producción de chancado de mineral Post-prueba (con la aplicación del sistema de control de redes industriales); $i=1,2,3, \dots n-1$

Esta investigación hace uso del método estadístico para determinar la mejora de producción de chancado de mineral y mejora de la identificación y ubicación de fallas en el proceso de chancado.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se empleó la técnica de la observación y toma de datos directos utilizando instrumentos que se requiere para ver el comportamiento de la producción de mineral chancado, la identificación y ubicación de fallas de la planta de chancado. Utilizando todo los software apropiados en la plataforma FactoryTalkView y los equipos de campo como los módulos Flex I/O. para el cual se muestran las imágenes en el sistema SCADA y los Flex I/O.

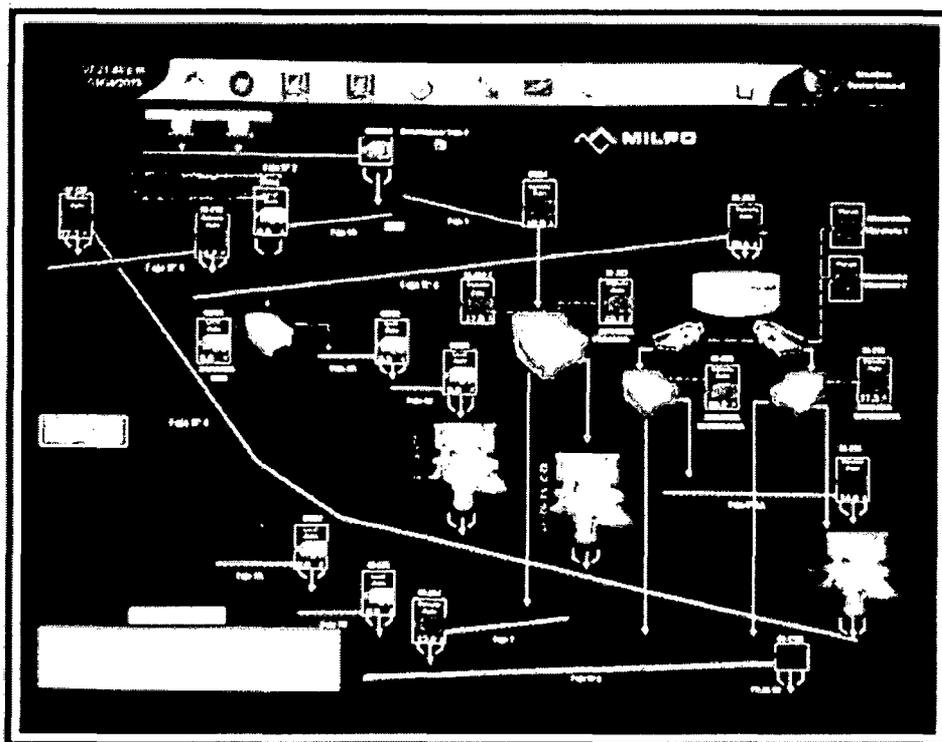


Figura 3.2 Pantalla de la plataforma FactoryTalkView (Fuente: Elaborado por el investigador).

3.6.1. Población

La población en la cual se desarrolló la investigación se consideró datos generados en 14 semanas; siendo 96 datos para la producción de chancado de mineral Aurífero (Au) y otros en menor cantidad, y 96 datos de la identificación de las fallas mediante el sistemas SCADA y los módulos remotos que ayudan a identificar lo que sucede en el sistema y la planta, también ayuda que los instrumentos identifique fallas mecánica como lubricación, vibración de todo los equipos de grandes dimensiones como la zaranda, chancadora y motores, todos estos datos son almacenados en el histórico del sistema SCADA desarrollado en la plataforma FactoryTalkView.

3.6.2 Muestra

La muestra fue Censal poblacional, siendo 96 muestras para la variable de producción de chancado de mineral (Au) en toneladas por día, con un tope máximo de 5600 TPD, la identificación y ubicación de fallas en la planta de proceso de chancado, son tomados por los instrumentos de campo y es de 92 muestras, estos datos (muestras) son clasificados en fallas por semana, siendo el total de 14 semanas.

El tamaño de la muestra, para una población finita N, se establece de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2(P)(1-P)N}{(N-1)E^2 + Z^2(P)(1-P)}$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra. N = Población.

Z = Nivel de confianza o coeficiente de confianza.

E = Error de la muestra o error permitido.

P= Proporción de unidades que poseen el atributo de interés en la población.

Para el caso de P se toma su valor, si se conoce de antecedentes de estudios similares o de lo contrario de un estudio piloto. En caso no existiera estudios similares y no pudieran hacerse un estudio piloto se considera la máxima varianza cuando P = 0.5 con un error absoluto de E = 0.025.

Reemplazando los valores en la ecuación anterior, obtenemos como resultado:

$$n = \frac{(1.96)^2 * 0.5 * (1 - 0.5) * 96}{(96 - 1) * (0.025)^2 + (1.96)^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}$$
$$n = \frac{92.1984}{1.01} , n = 91.2855$$

Entonces el número de muestras necesarias para la prueba de hipótesis es 92, estando próximo a la población que son 96 muestras; por lo que en el estudio se consideró las 96 muestras para tener una mayor precisión.

Cabe indicar que no fue posible tomar más datos, debido a que el sistema de arquitectura de control basado en redes industriales una vez instalado y puesta en prueba se transfiere a la empresa minera solicitante.

La tabla 3.1 muestra los datos tomados de la producción de chancado de mineral antes y después de la instalación de la arquitectura.

En la tabla 3.2, se muestra los datos en horas de la ubicación e identificación de fallas sin implementar la Arquitectura basado en redes industriales, en dicho cuadro se muestra las horas trabajadas, horas perdidas y la cantidad de fallas con su respectiva descripción.

Tabla 3.1. Comparación de la producción: con el sistema implementado y sin el sistema.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Datos tomados x semana Ideal		39200	39200	39200	39200	39200	39200	39200	39200	39200	39200	39200	39200	39200	39200
Datos tomados x semana Sin la Arquitectura		33040	24575	35760	36200	28900	33530	36560	36200	31550	31650	25700	36660	37450	31000
Datos tomados x semana Ideal (sumados)		39200	78400	117600	156800	196000	235200	274400	313600	352800	392000	431200	470400	509600	548800
Datos tomados x semana Sin la Arquitectura (sumados)		33040	57615	93375	129575	158475	192005	228565	264765	296315	327965	353665	390325	427775	458775
Especificación		01-abr-13	08-abr-13	15-abr-13	22-abr-13	29-abr-13	06-may-13	13-may-13	20-may-13	27-may-13	03-jun-13	10-jun-13	17-jun-13	24-jun-13	01-jul-13
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Datos tomados x semana Sin la Arquitectura		33040	24575	35760	36200	28900	33530	36560	36200	31550	31650	25700	36660	37450	31000
Datos tomados x semana con la Arquitectura		37670	38180	38130	34000	39000	37900	28100	36820	38670	34580	38200	27950	38200	36080
Datos tomados x semana Sin la Arquitectura (sumados)		33040	57615	93375	129575	158475	192005	228565	264765	296315	327965	353665	390325	427775	458775

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 3.2. Datos tomados de fallas sin la arquitectura de control

03-feb AL 14-ene-13	AL 14-ene-13	20-ene	148.68	12.32	3.00	Cambio de motor faja 4 Cambio de sensor posicion de CH-660 chancadora secundaria Cambio de chaqueta CH-660 secundaria
	AL 21-ene-13	27-ene	118.70	42.30	14.00	sensor de velocidad cero faja 9 Pul Cord faja 5 Electroimana de faja 2 Tripeo de tablero CH-660 terciari Falla de sensor de velocidad cero faja 8 y 2 Falla de sensor de velocidad cero faja 5 y cambio de motor 5 Cambio de chaqueta CH-660 terciaria Alineamiento de Motor CH-660 terciari
	AL 28-ene-13		137.71	23.29	10.00	Pull kor faja 4 Falla de piston alimentadores 1 Falla de pistones alimentadores 1 Bomba de alimentador vaivenes

Datos tomados de fallas sin la arquitectura de control						
	Horas de Trabajadas	Horas de Paradas	Fallas Electricas y Mecanicas	Descripcion de fallas		
30-dic AL 24-dic-12	135.70	25.30	8.00	Falla de la unidad Hidraulica CH-660 terciaria Falla termica del motor faja 2 Cambio de Contactor de faja 8 Cambio de malla de Zaranda Chute de faja 9 Atorado Cambio sensor Velocidad Cero Faja 8		
				Falla termica de faja 4 Tripeo de faja 7 Tripeo de faja 7,8 Tripeo de faja 7 y 8 Alarma de Pull Cord Chuteo de zaranda primaria "mineral Humedo" Desatoro de chute faja 8 Desatoro de chute faja 7, chuteo de zaranda primaria		
13-ene AL 07-ene-13	146.87	11.13	6.00	Tolva de finos lleno Bomba de alimentador vaivenes Molno 10 U2 x12 parado Cambio de piston alimentador Desalineamiento de faja polea de cabeza		

Datos tomados de fallas en la arquitectura de control				
	Horas de Trabajadas	Horas de Paradas	Fallas Electricas y Mecanicas	Descripcion de fallas
24-dic-12 AL 30-dic	135.70	25.30	6.00	Falla de la unidad Hidraulica CM-660 terciaria Falla termica del motor faja 2 Cambio de Contactos de faja 6 Cambio de malla de Zaranda Chute de faja 9 Atorado Cambio sensor Velocidad Cero Faja 8
31-dic-12 AL 06-ene	100.33	60.07	18.00	Falla termica de faja 4 Tripeo de faja 7 Tripeo de faja 7,8 Tripeo de faja 7 y 8 Alarma de Pull Cord Chuteo de zaranda primaria "mineral Humedo" Desatoro de chute faja 8 Desatoro de chute faja 7, chuteo de zaranda primaria
07-ene-13 AL 13-ene	146.87	14.13	6.00	Tolva de fibras lencas Bomba de alimentador valvulas Molino 10 1/2 x 12 parado Cambio de piston alimentador Desalineamiento de faja poles de cobres

04-feb-13 AL 10-feb	150.16	10.84	8.00	Alarma de Pull Cord 4 Alarma de Pull Cord 6 Alarma de Pull Cord 1 Falla de pistones alimentadores 2 Parada de planta
11-feb-13 AL 17-feb	148.68	12.32	9.00	Parada de Planta Siniestro en Sala electrica
18-feb-13 AL 24-feb	129.58	31.42	11.00	TOLVA DE FINOS LLENOS Falla de sensor de velocidad cero faja 8 Falla de sensor de velocidad cero faja 2 Falla de sensor de velocidad cero faja 7 Falla de sensor de velocidad cero faja 4 Motor de la Zaranda desalinado

04-feb-13	AL	150.16	10.84	8.00	Alarma de Pull Cord 4 Alarma de Pull Cord 9 Alarma de Pull Cord 1 Falta de pistones alimentadores 2 Parada de planta
10-feb					
11-feb-13	AL	118.68	12.32	9.00	Parada de Planta Siniestro en Sala electrica
17-feb					
19-feb-13	AL	129.59	31.42	11.00	TOLVA DE FINOS LLENOS Falta de sensor de velocidad cero faja 8 Falta de sensor de velocidad cero faja 2 Falta de sensor de velocidad cero faja 7 Falta de sensor de velocidad cero faja 4 Motor de la Zarnada desafilado
24-feb					

Datos tomados de fallas en la estructura de control					
		Horas de Trabajadas	Horas de Paradas	Fallas Electricas y Mecanicas	Descripcion de fallas
24-dic-12	AL	135.70	25.30	8.00	Falta de la unidad Hidraulica CH-650 terciaria Falta termica del motor faja 2 Cambio de Contactor de faja 6 Cambio de malla de Zaranda Chute de faja 8 Atorado Cambio sensor Velocidad Cero Faja 8
30-dic					
31-dic-12	AL	100.33	60.07	18.00	Falta termica de faja 4 Tripeo de faja 7 Tripeo de faja 7,8 Tripeo de faja 7 y 8 Alarma de Pull Cord Chuteo de zaranda primaria "mineral Humedo" Desatoro de chute faja 8 Desatoro de chute faja 7, chuteo de zaranda primaria
06-ene					
07-ene-13	AL	146.87	14.13	6.00	Torna de finos lleno Bomba de alimentador vsirenes Molino 10 1/2 x 12 parado Cambio de piston alimentador Desafilamiento de faja polva de cabeza
13-ene					

04-feb-13	AL	04-feb-13	10-feb	150.16	10.84	8.00	Afirmas de Pull Cord 4 Afirmas de Pull Cord 3 Afirmas de Pull Cord 1 Falta de pistones alimentadores 2 Parado de platos
11-feb-13	AL	11-feb-13	17-feb	148.68	12.32	3.00	Parado de Platos Smeetro en Sala electrica
19-feb-13	AL	19-feb-13	24-feb	123.58	31.42	11.00	TOLVA DE FINOS LLENOS Falta de sensor de velocidad cero faja 8 Falta de sensor de velocidad cero faja 2 Falta de sensor de velocidad cero faja 7 Falta de sensor de velocidad cero faja 4 Motor de la Zarnada desahogado

14-mar-13	AL	14-mar-13	20-mar	148.68	12.32	3.00	Cambio de motor faja 4 Cambio de sensor posicion de CH-660 chancadora secundaria Cambio de chaqueta CH-660 secundaria
21-mar-13	AL	21-mar-13	27-mar	118.70	42.30	14.00	sensor de velocidad cero faja 3 Pul Cord faja 5 Electroimano de faja 2 Tripeo de tablero CH-660 Terciari Falta de sensor de velocidad cero faja 8 y 2 Falta de sensor de velocidad cero faja 5 y cambio de motro 5 Cambio de chaqueta CH-660 terciaria Alineamiento de Motor CA-660 terciari
28-mar-13	AL	28-mar-13	03-feb	137.71	23.23	10.00	Pull kor faja 4 Falta de piston alimentadores 1 Falta de pistones alimentadores 1 Bomba de alimentador vaivener

Datos tomados de fallas de la arquitectura de control				
FECHA	Horas de Trabajadas	Horas de Paradas	Fallas Electricas y Mecanicas	Descripcion de fallas
24-dic-12 AL 30-dic	135.70	25.30	8.00	Falla de la unidad Hidraulica CM-660 terciaria Falla termica del motor faja 2 Cambio de Contactor de faja 8 Cambio de malla de Zarnada Chete de faja 9 Aterado Cambio sensor Velocidad Cero Faja 8
31-dic-12 AL 06-ene	100.93	60.07	18.00	Falla termica de faja 4 Tripcio de faja 7 Tripcio de faja 7,8 Tripcio de faja 7 y 8 Alarma de Pull Cord Cheteo de zaranda primaria "mineral Hemedo" Desatoro de chete faja 8 Desatoro de chete faja 7, cheteo de zaranda primaria
07-ene-13 AL 13-ene	146.87	14.13	6.00	Tolva de finos llenos Bomba de alimentador vaivenes Molino 10 1/2 x 12 parado Cambio de piston alimentador Desalineamiento de faja polea de cabeza

04-feb-13 AL 10-feb	150.16	10.84	8.00	Alarma de Pull Cord 4 Alarma de Pull Cord 9 Alarma de Pull Cord 1 Falla de pistones alimentadores 2 Parada de planta
11-feb-13 AL 17-feb	148.68	12.22	8.00	Parada de Planta Siniestro en Sala electrica
18-feb-13 AL 24-feb	129.58	31.42	11.00	TOLVA DE FINOS LLENOS Falla de sensor de velocidad cero faja 8 Falla de sensor de velocidad cero faja 2 Falla de sensor de velocidad cero faja 7 Falla de sensor de velocidad cero faja 4 Motor de la Zarnada desalinado

Fuente: Elaborado por el investigador.

3.6.3. Muestreo

Para este caso se consideran todos los datos tomados por el sistema SCADA de plataforma FactoryTalkView - Histórico, que en total son 14 datos semanales agrupados para la producción, así mismo para las fallas y ubicación se tiene un total de 14 datos agrupados en 14 semanas.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

a) Técnica e instrumento de recolección de datos de producción:

En este caso los datos son tomados de la balanza electrónica que se ubica en la primera faja, el cual se encarga de obtener el peso de producción por día enviando el dato al módulo Flex I/O mediante una señal analógica por el protocolo de comunicación Hart; es el estándar global para el envío y la recepción de información digital a través de cables analógicos entre dispositivos inteligentes y sistemas de control o monitoreo, opera usando el principio del Cambio Codificado de Frecuencia (FSK). La señal digital está construida de dos frecuencias principales, 1200 Hz y 2200 Hz, representando los Bits 1 y 0 (cero), respectivamente. Las ondas seno de estas dos frecuencias están superpuestas en la señal de corriente continua análoga de 4-20 mA DC. Con esto, cables de comunicación con señales análogas transportan a la vez comunicación análoga y digital y esta información es escalada para luego mostrarla en el SCADA toma los datos diarios de la cantidad de producción.

b) Técnica e instrumento de recolección de datos de ubicación de falla:

Para el tema de fallas en el sistema del área Chancado se usa un SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su

gestión e intervención, este sistema muestra la ubicación del equipo o instrumento que está fallando y además muestra el punto de ubicación de los instrumentos de campo y además por los módulos para el cual se muestra en el sistema SCADA de todo el proyecto.

3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se procedió con la recolección de datos con el sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención desarrollado en la plataforma FactoryTalkView – para el cual el Histórico, este software se encarga de recibir toda la información desde el PLC Allen Bradley ControlLogix L73 que opera en modo redundante, el mismo que está en permanente comunicación con los escáner de los módulos Flex I/O que está en campo junto con los instrumentos (sensores de temperatura, sensor de nivel de aceite, vibración, alineamiento de faja, ruptura de faja, pull coord., los sensores de chute, sensores de nivel, y otros sensores) recogiendo y enviando información de los eventos sucedidos; así mismo los módulos escáner DeviceNet controla a los arrancadores electrónicos que se ubican en la sala eléctrica, este instrumento también monitorea el estado de los arrancadores, estos datos se almacena en el PLC Allen Bradley ControlLogix L73 y a la vez se muestra en el Word station.

3.8.1. Modos de control

Aquí se describe la manera de cómo se quiere controlar el proceso de producción y el proceso de los servicios complementarios o utilidades.

MODOS DE OPERACIÓN DE MOTORES

Las estrategias de control de las plantas de producción y de los servicios complementarios o utilidades deberán ser consistentes en su filosofía de

control. La selección Automático/Manual, Local/Remoto y otras secuencias comunes serán descritas a continuación.

a) Selección Local/Remoto

La selección del modo de operación local o remota deberá ser seleccionada desde los selectores físicos ubicados en la puerta frontal de cada arrancador. El modo seleccionado podrá ser visualizado desde las estaciones de operación, ya que el selector estará conectado a una entrada discreta del arrancador, y éste a la vez se enlaza al sistema de control de procesos por comunicaciones.

En operación local: el equipo sólo podrá ser arrancado o detenido desde las botoneras de control local (ECL) ubicadas en campo (ubicación cercana al motor del equipo), pero el estado del motor y todos los parámetros de trabajo del arrancador podrán ser supervisados desde el SCADA. La botonera de control local (ECL) contará con un pulsador para arranque, un pulsador de parada y un botón con enclavamiento mecánico de parada de emergencia. Los pulsadores y la parada de emergencia serán cableados directamente al arrancador. El estado del botón de parada de emergencia será supervisado desde el SCADA.

En el modo de operación local, los permisivos y/o enclavamientos de protección del equipo (temperatura, nivel de aceite, presión, etc.) y aquellos provenientes del proceso (estado de los equipos aguas abajo, flujos, etc.) no estarán habilitados (no trabajarán), por lo que el personal a cargo deberá tomar las previsiones necesarias para evitar dañar el equipamiento o comprometer el proceso. Sin embargo, en éste modo los enclavamientos de parada de emergencia, sobrecarga del motor y otros parámetros de protección propios del arrancador, sí estarán habilitados (trabajarán).

En operación remota: el equipo sólo podrá ser arrancado o detenido remotamente mediante comando virtuales (por comunicaciones) desde el SCADA, a través de los controladores del PCS. Para el comando y supervisión se generarán faceplates típicos de acuerdo al tipo de arranque (directo, SSTR y VFD), los cuales contarán con información del equipo, lista

de permisos y enclavamientos (donde se indicará si están o no activos), se mostrarán datos como corrientes, factor de potencia, voltaje, etc., de acuerdo a las capacidades de cada tipo de arrancador. Para acceder a los faceplates se contará con link en la pantalla principal del proceso, desde donde podrán ser desplegados.

En éste modo de operación, todas las alarmas, permisos y/o enclavamientos estarán habilitados, tanto de protección del equipo, como aquellos determinados por el proceso.

El modo de control remoto, tendrá la capacidad de trabajar en modo automático (dependiendo del proceso), en caso de contar con lazos de control cerrado, dependencia entre equipos (equipos auxiliares) u otros. La selección de éste modo de control, habilitado sólo en modo remoto, deberá ser implementado mediante lógica en los controladores, y será manipulado desde el SCADA.

b) Esquema de colores

Se debe considerar como esquema de colores, para representar los estados de los motores y válvulas, lo siguiente y los módulos de comunicación con los Flex I/O de los Ríos eso se consideran en campo para visualizar las fallas:

Rojo	=	Motor funcionando	=	válvula cerrada
Verde	=	Motor detenido	=	válvula abierta

c) Estrategias de control

El programador implemento diferentes estrategias de control, de acuerdo a las necesidades del proceso, pudiendo ser: control on/off, control proporcional (PID), control por ancho de pulsos (PVM), entre otros. La implementación de las estrategias contempla el diseño o asignación de los parámetros de operación de los controles implementados (como por ejemplo parámetros proporcional, integrativo y derivativo de un control PID).

d) SCADA

En el SCADA se creó con las diferentes pantallas referentes al proceso, en donde se deberán mostrar todos los equipos intervinientes, de acuerdo a los flujos del proceso.

El diseño de las pantallas permitirá una operación intuitiva, con links para despliegue para supervisión y comando de motores y otros actuadores.

e) Manejo de alarmas

Las alarmas del proceso y del sistema, son visualizadas desde todas las estaciones de operación. Las alarmas deberán ser agrupadas e identificadas por niveles de prioridad o por criticidad para la operación de la planta.

Al generarse una alarma, ésta permanecerá activa mientras el operador no la reconozca, esto para evitar desconocimiento por parte del operador. Por otro lado, al detectarse una alarma u evento, deberá producirse un sonido en la estación de operación mientras la alarma esté activa. El sonido estará sujeto al nivel de criticidad de la alarma.

f) Tendencias e históricos

En el SCADA se consideró la generación de gráficos de tendencia para todas las señales de protección de los equipos, dichas tendencias son agrupadas de acuerdo al equipo y tipo de señal, ej. Las señales de los sensores de temperatura del motor de la chancadora secundaria.

Adicionalmente, éstas señales son almacenadas, para así contar con tendencias históricas, con tiempo máximo de almacenamiento de 1 semana, y una tomar de datos de 0.5 segundos, es decir, casi 3000 muestras por día, por cada señal.

3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para procesar los datos del trabajo de investigación se procedió con el software Excel. En donde se calcula la media, el porcentaje de aumento de producción de chancado de mineral, para la identificación y ubicación se hallan el promedio de los

tiempos de demora de la identificación de la falla antes y después, su desviación estándar, así mismo el cálculo del promedio de tiempos para la demora de ubicación de fallas antes y después de la instalación de la arquitectura de control basado en redes industriales, el cálculo de la desviación estándar de los datos para proceder a la prueba de la hipótesis nula.

3.10. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

La prueba de hipótesis para el aumento de la producción de chancado de mineral se realizó con la comparación de los promedios en toneladas por semana antes y después de la instalación de la arquitectura de control basado en redes industriales y calculando el aumento de porcentaje de producción del chancado de mineral en toneladas por semana. Para la prueba de hipótesis de la disminución del tiempo de identificación de la falla en la planta de chancado se realizó con la comparación del T de students crítico al 95% de confianza con el T students calculado de los datos, se procedió de la misma manera para la disminución del tiempo de ubicación de las fallas en la planta chancado de mineral de la compañía minera Marsa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para mejorar la arquitectura de control de la zona de chancado de la minera Marsa Aurífera Unidad Retama y lograr los objetivos propuestos en el presente trabajo de investigación se diseñó e implementó la arquitectura de control con redes industriales redundantes.

4.1.1. Algoritmo para el diseño y la implementación de la arquitectura de control de la zona chancado, con redes industriales redundantes

A continuación se describe el algoritmo para el diseño e implementación de la arquitectura de control de la zona chancado:

El circuito de chancado primario empieza en las tolvas de acopio de material procedente de la labor en interior mina. Este material es dosificado mediante alimentadores de orugas, los cuales alimentan a la faja transportadora N° 1, y ésta a la vez descarga en la faja transportadora N° 2. La descarga de la faja transportadora N° 2 alimenta una chancadora de mandíbulas (chancadora primaria), y su producto es transportado por la faja N° 3 al circuito de chancado secundario; en la faja N° 3 se cuenta con un electroimán, el cual retira piezas metálicas que podrían dañar a la chancadora y fajas del circuito siguiente.

La faja transportadora N° 3 alimenta un cedazo secundario, el cual clasifica el material, dirigiendo los finos hacia las pilas de material fino a través de la faja transportadora N° 7 y el tripper N° 9. Los gruesos son alimentados a una chancadora secundaria (Sandvik H6800), cuyo producto es descargado en la faja transportadora N° 4, la cual transporta el material

hacia una nueva etapa de clasificación y chancado, es decir, al circuito de chancado terciario.

El material procesado por la chancadora secundaria es transportado a un cedazo terciario, a través de las fajas transportadoras N° 5, 6 (nueva) y 6B; en la faja transportadora N° 5 se cuenta con un electroimán, el cual retira piezas metálicas que podrían dañar las fajas. El cedazo terciario clasifica el material, dirigiendo los finos hacia las pilas de material fino a través de la faja transportadora N° 7A y el tripper N° 9; la faja transportadora N° 7A cuenta con una balanza la cual permite medir la cantidad de material fino procesado por la chancadora terciaria (para medir la producción total de chancado, se instaló una balanza adicional en la faja transportadora N° 7 para medir los finos que no ingresan al circuito de chancado secundario). Por otro lado, los gruesos son alimentados a una chancadora terciaria (Metso HP500), cuyo producto es retomado al circuito de chancado terciario, a través de las fajas N° 8 y 8A, descargando ésta última en la faja transportadora N° 5

– **Secuencia de arranque y parada:**

En este proyecto, se instalaron CCM's (centros de control de motores) inteligentes, El hecho de contar con arrancadores inteligentes, desde el enfoque del SCADA y controlador, quiere decir que la supervisión y comando de arranque y parada de los equipos en modo remoto, se realizó por la arquitectura de comunicaciones.

Los equipos que cuentan con arrancadores inteligentes, además del equipamiento nuevo y repotenciado, son:

- Faja transportadora N° 2.
- Faja transportadora N° 3.
- Electroimán N° 1.
- Chancadora secundaria Sandvik H6800 y motores auxiliares.
- Faja transportadora N° 4.
- Faja transportadora N° 5.
- Electroimán N° 2.

- Faja transportadora N° 6.
- Faja transportadora N° 6B.
- Cedazo terciario.
- Faja transportadora N° 7.
- Faja transportadora N° 7A.
- Faja transportadora N° 8.
- Faja transportadora N° 8A.
- Faja tripper N° 9.

Tomando en cuenta que las áreas de chancado primario, secundario y terciario contarán con una parte automatizada y otra no automatizada (la parte no automatizada corresponde a los equipos que no cuentan con arrancador inteligente), se considera la siguiente secuencia de arranque, iniciando agua abajo del proceso, y termina en los alimentadores de orugas

a) Secuencia de arranque:

Una vez liberados y despejados los ambientes cercanos a los equipos involucrados (descritos en los puntos anteriores), la secuencia de arranque se inicia arrancando los equipos en el orden indicado:

La chancadora terciaria Metso HP-500, chancadora secundaria Sandvik H6800 y la chancadora primaria C-110 Metso arrancan en forma independiente estos habilitan a que todas las fajas y zarandas puedan arrancar en secuencia.

- Faja Reversible N° 9
- Fajas transportadoras N° 7 y 7A.
- Fajas transportadoras N° 8A.
- Fajas transportadoras N° 8.
- Cedazo terciario.
- Fajas transportadoras N° 6B.
- Fajas transportadoras N° 6.

- Fajas transportadoras N° 5.
- Faja transportadora N° 4.
- Faja transportadora N° 3, junto con su electroimán.
- Faja transportadora N° 2.
- Faja transportadora N° 1.
- Alimentadores.

Esta secuencia se debe cumplir en todo momento, y para asegurarlo se ingresarán a la programación, permisos virtuales (en algunos casos se implementó por cableado duro) que habilitarán o deshabilitarán determinados equipos de acuerdo a la secuencia estipulada. El arranque de cada equipo estará acompañado por la activación de una alarma sonora (10 segundos), previo al arranque del equipo.

Los permisos para el arranque y los enclavamientos para la parada de los equipos, estarán íntimamente ligados al estado del equipo aguas abajo del proceso, es decir, que un equipo no podrá ser arrancado si es que los equipos aguas abajo del proceso están detenidos; por otro lado, un equipo en funcionamiento deberá detenerse si el equipo contiguo aguas abajo del proceso se detuvo, esto para evitar el estancamiento de material y posterior parada (prolongada) para limpieza de los equipos afectados.

En los equipos que sean comandados por los nuevos CCM's (que cuentan con arrancadores inteligentes) se implementarán permisos y enclavamientos virtuales (por lógica). En el caso de los equipos que no cuentan con éste tipo de arrancadores, se utilizarán señales de E/S digitales desde o hacia los gabinetes RIO's hasta los arrancadores, de manera que en la lógica de control se tenga el estado de los equipos y también se proporcionen los permisos y/o enclavamiento de los equipos externos (no comandados desde el PCS)

b) **Secuencia de parada:**

En la secuencia de parada, se determinó que equipos se detienen aguas arriba del proceso en caso que otro equipo se detenga de manera imprevista o de manera deseada por el operador. La secuencia considerada, tomando en cuenta el nuevo equipamiento fue:

- Alimentadores,
- Faja transportadora N° 1,
- Faja transportadora N° 2,
- Faja transportadora N° 3, junto con su electroimán,
- Cedazo secundario,
- Chancadora secundaria Sandvik H6800 y motores auxiliares,
- Faja transportadora N° 4,
- Fajas transportadoras N° 6B, 6, 5, 8A y 8, además del electroimán de la faja N° 5.
- Cedazo terciario,
- Fajas transportadoras N° 7 y 7A,
- Faja tripper N° 9.

El tiempo de espera para la parada de cada equipo (tiempo de parada entre equipos), deberá ser tal que asegure la descarga completa de material de cada equipo, para evitar el arranque posterior con carga

Para el caso de paradas fortuitas, ya sea por la activación de algún instrumento de protección, parada de emergencia, o generada por el operador, el equipo detenido generará la parada de los equipos ubicados aguas arriba del circuito inmediatamente, por lo cual se deberán ingresar enclavamientos para la parada de los equipos contiguos (aguas arriba) de cada equipo. En este caso, no hay un tiempo de retardo entre cada equipo para su detención

Por otro lado, las chancadoras no contarán con éste tipo de enclavamientos, es decir, que si un equipo aguas abajo del circuito

se detiene de forma intempestiva, las chancadoras permanecerán funcionando. Las chancadoras sólo se detendrán por: sobre carga del motor, protecciones del equipo, mando del operador o durante la secuencia de parada coordinada

4.1.2 Diseño e implementación de la arquitectura de control de la zona chancado con redes industriales redundantes

Configuración del driver:

El diseño inicia con la configuración de driver para escaneo de los equipos que están en la red, empleando el RSLinx, tal como se muestra en la figura 4.1, en la figura 4.2 se adiciona un nuevo driver y en la figura 4.3 se muestra los equipos que están en red.

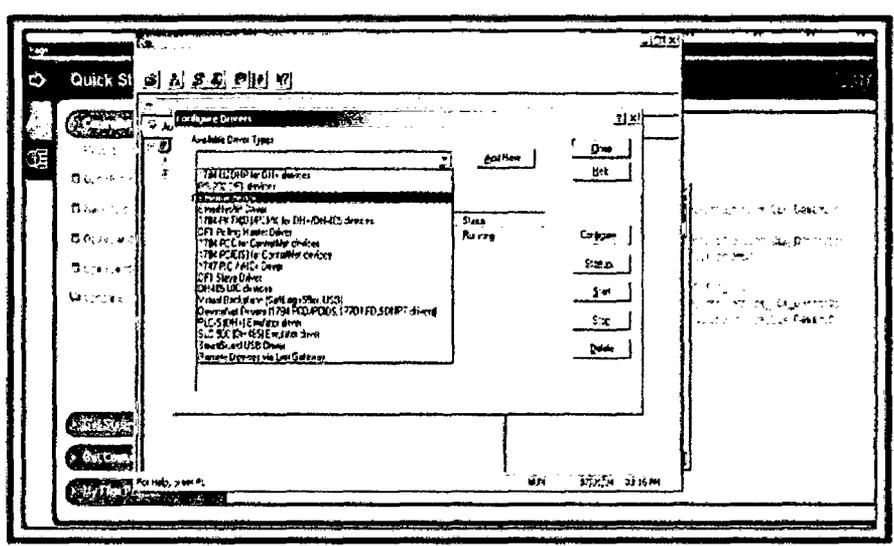


Figura 4.1. Configuración del RSLinx escaneo de equipos en la red (Fuente: Elaborado por el investigador).

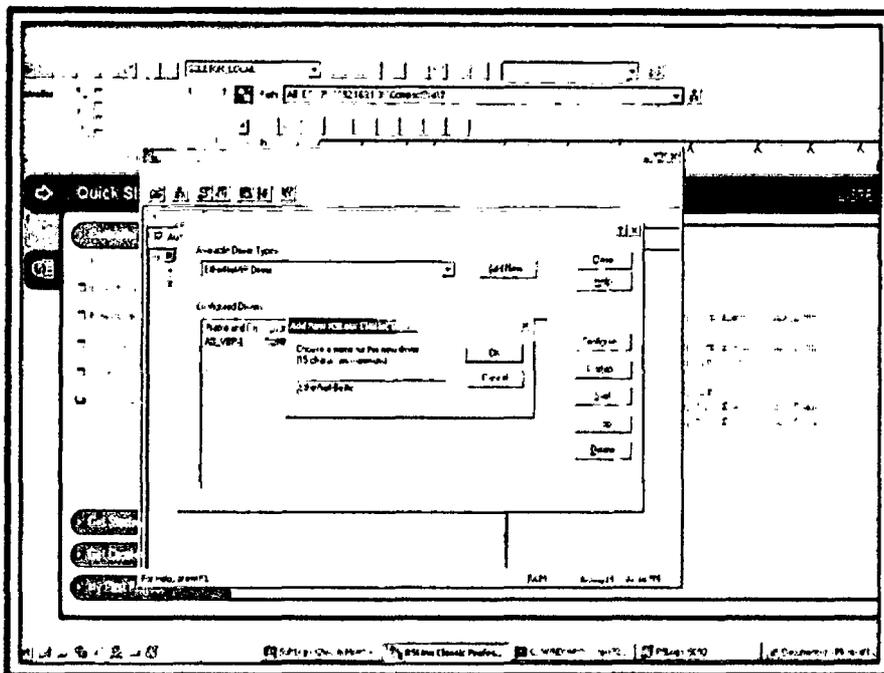


Figura 4.2 Adición de nuevo driver Ethernet (Fuente: Elaborado por el investigador).

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 5.2.6001]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\Administrator>ping 192.168.1.30

Pinging 192.168.1.30 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.1.30: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.30: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.30: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.30: bytes=32 time<1ms TTL=64

Ping statistics for 192.168.1.30:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms

C:\Documents and Settings\Administrator>ping 192.168.1.31

Pinging 192.168.1.31 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.1.31: bytes=32 time=2ms TTL=64
Reply from 192.168.1.31: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.31: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.31: bytes=32 time<1ms TTL=64

Ping statistics for 192.168.1.31:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 2ms, Average = 1ms

C:\Documents and Settings\Administrator>

```

Figura 4.3. Detección de equipos en Red (Fuente: Elaborado por el investigador).

En seguida se verifica en RSLinx que los equipos estén en red para continuar con la programación. Ver figura 4.4.

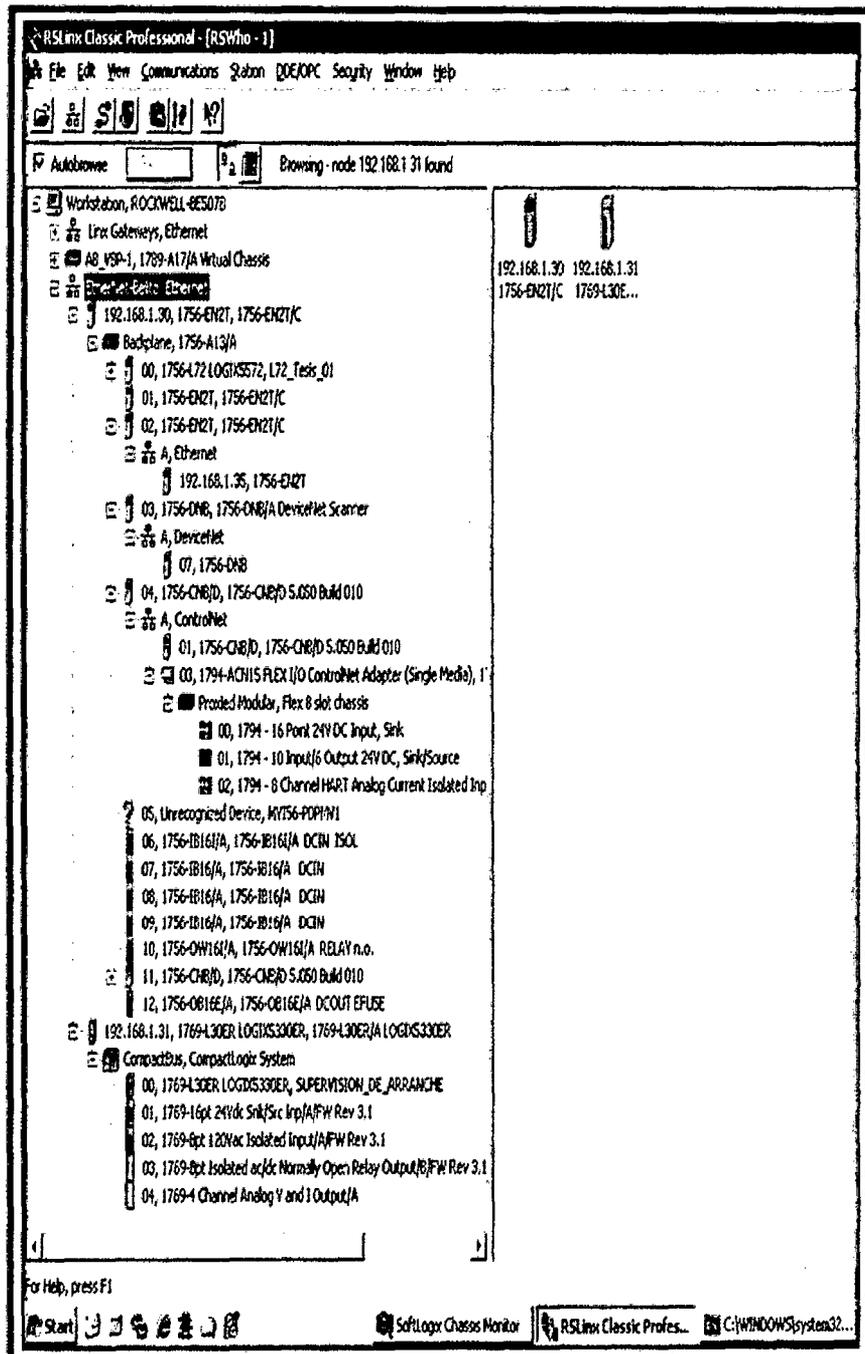


Figura 4.4. Identificación de equipos en Ethernet con RSLinx (Fuente: Elaborado por el investigador).

Programación del controlador en RSLogix 5000:

Se procedió creando un nuevo programa en el RSLogix 5000 y configurando todos los módulos de entradas y salidas. Ver figura 4.5.

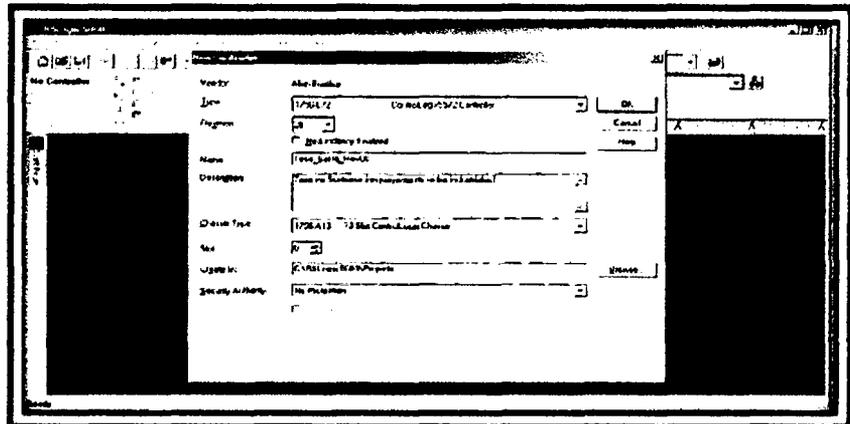


Figura 4.5. Creación de un nuevo programa en el RSLogix 5000 y configurando los módulos de entradas y salidas (Fuente: Elaborado por el investigador).

Luego de configurar todo los módulos se cargó en el PLC real, para iniciar la programación en línea. Ver figura 4.6.

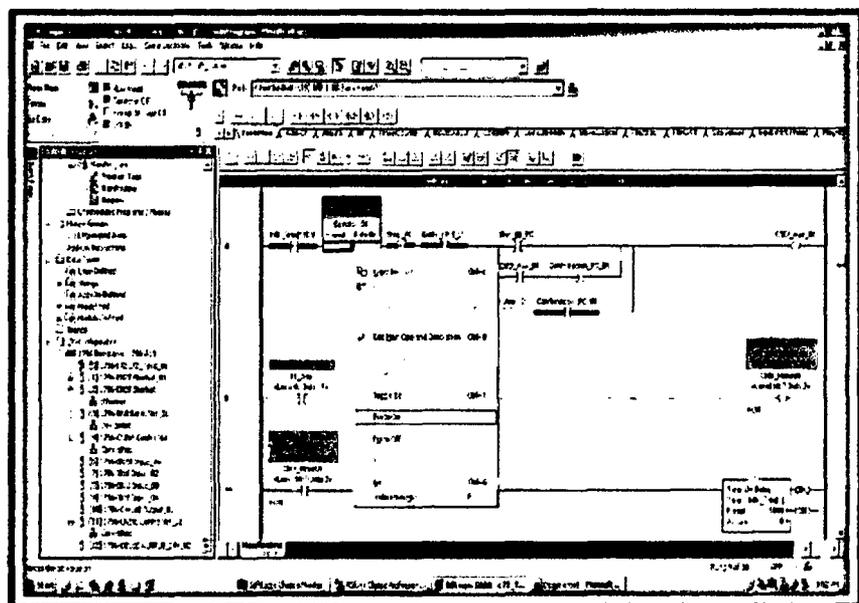


Figura 4.6. Programación en línea con el PLC real conectado (Fuente: Elaborado por el investigador).

El diagrama completo de programación del controlador se describe en Anexo 1.

Programación del SCADA en Factory Talk View:

En Factory Talk View se inicia la programación del sistema SCADA. Donde se establece la comunicación entre el PLC y el HMI para el cual se busca la dirección IP del controlador previamente programado. En seguida se creó las pantallas para el cual se comienza con las direcciones de todo los tag que esta designadas en el PLC y estos son configurados para el uso con el Factory. Se crea el face plate para enlazar objetos con tag del controlador. Ver figura 4.8.

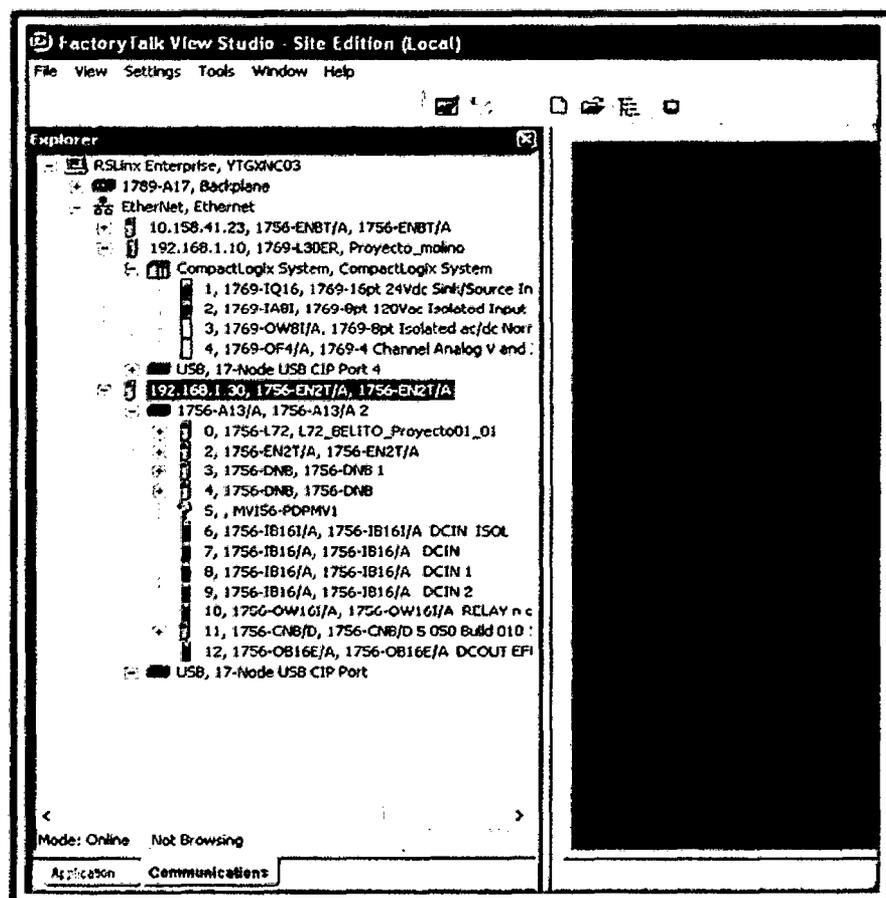


Figura 4.7. Inicio de la programación del SCADA en Factory Talk View (Fuente: Elaborado por el investigador).

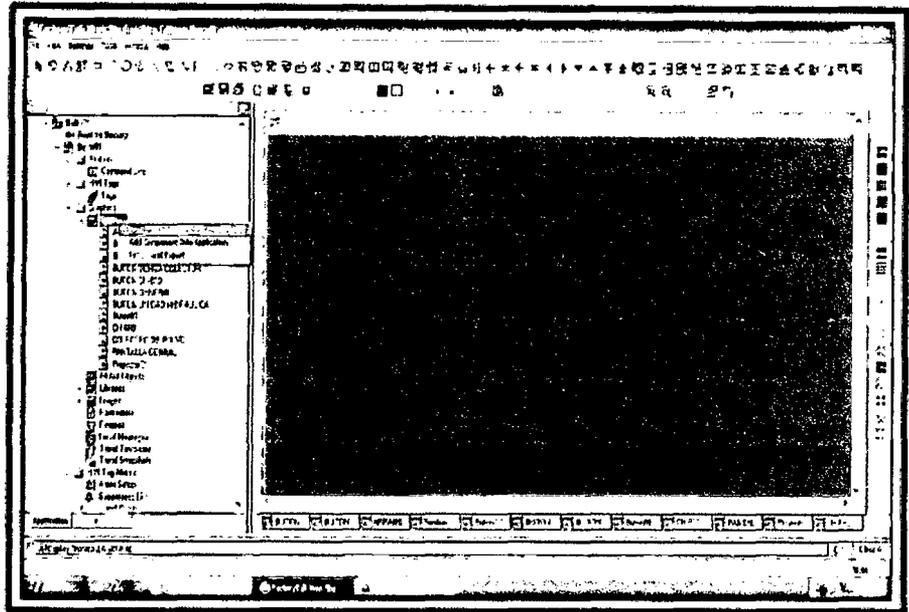


Figura 4.8. Creación del Face Plate en Factory Talk View (Fuente: Elaborado por el investigador).

En seguida se enlaza los objetos de control de motor a los respectivos tag. Ver figura 4.9 y figura 4.10.

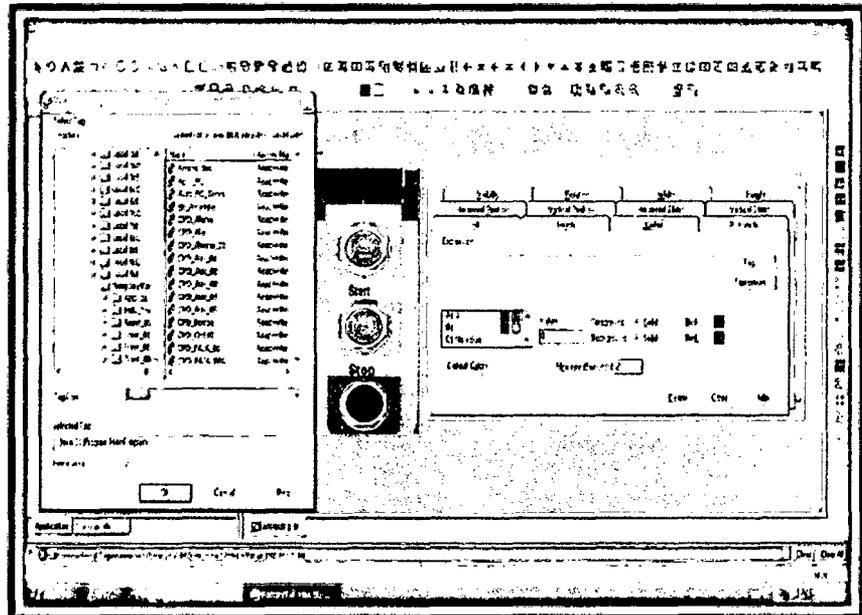


Figura 4.9. Enlace de objetos a tag de control de motores (Fuente: Elaborado por el investigador).

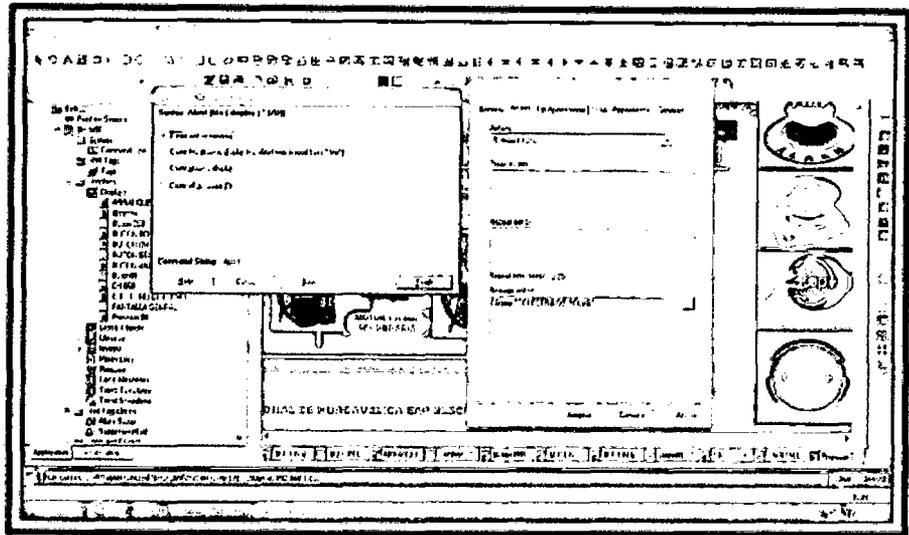


Figura 4.10. Tag de control de motores en diferentes pantallas
(Fuente: Elaborado por el investigador.)

Se ensambla las pantallas creadas tanto para el control de motores como para la unidad hidráulica. Ver figura 4.11. Luego se creó la pantalla de inicio. Ver figura 4.12.

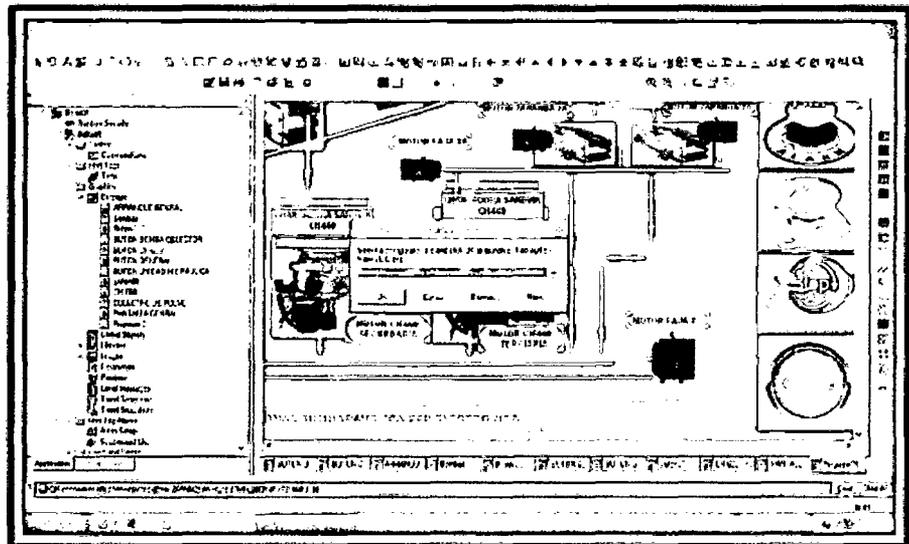


Figura 4.11. Ejecución de las pantallas creadas para el SCADA
(Fuente: Elaborado por el investigador.)

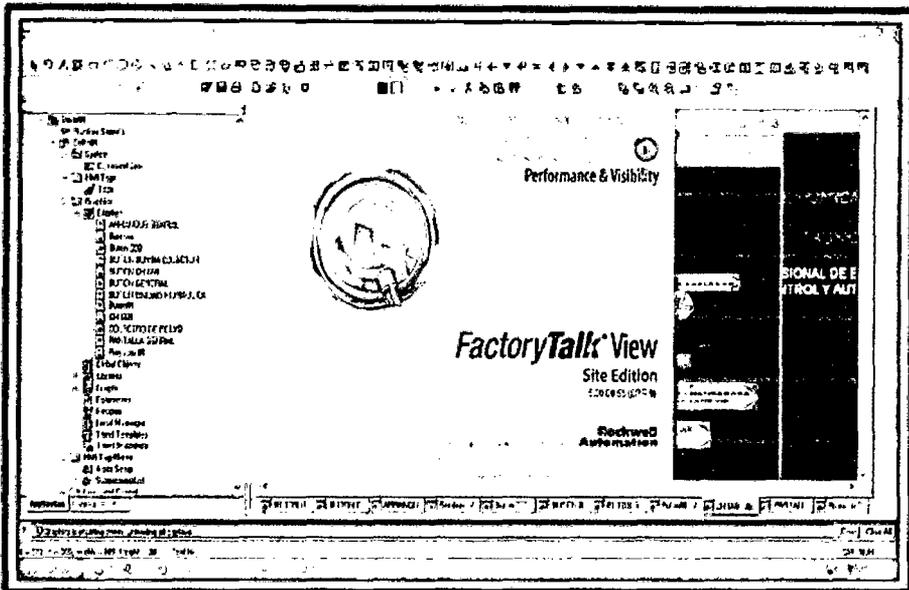


Figura 4.12. Configuración de la pantalla de inicio del sistema SCADA (Fuente: Elaborado por el investigador).

En la figura 4.12 se tiene la pantalla de inicio del sistema SCADA, y en la figura 4.13 se tiene los botones de control de motores y de la unidad hidráulica.

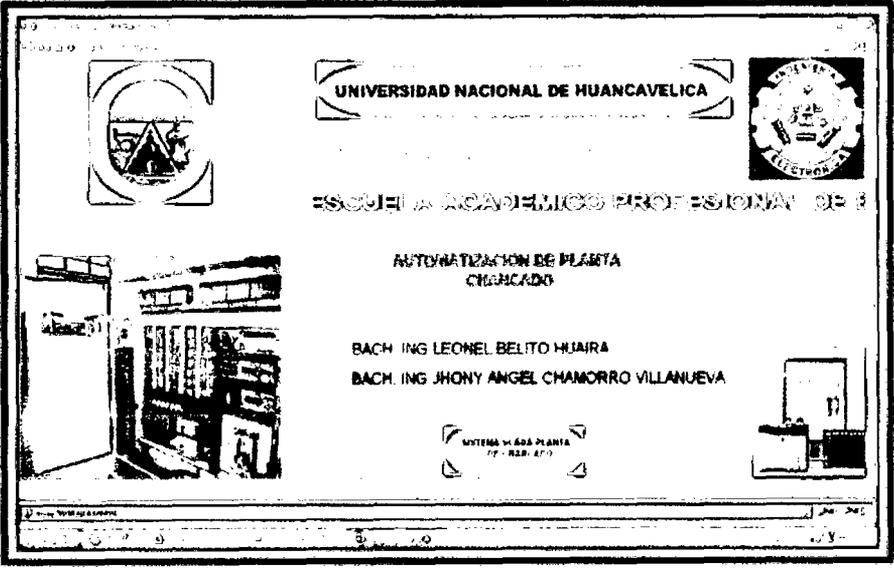


Figura 4.13. Pantalla Principal del SCADA (Fuente: Elaborado por el investigador).

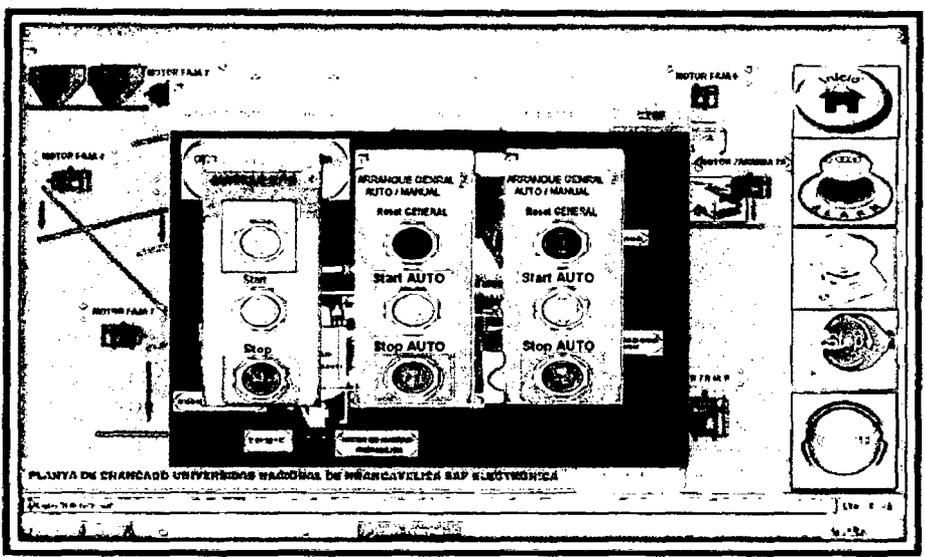


Figura 4.14. Pantalla de Interface de los botones de arranque Scada (Fuente: Elaborado por el investigador).

En la figura 4.15 se presenta la pantalla de interface de la unidad hidráulica y CH-660, Y en la figura 4.16 se tiene el sistema SCADA en funcionamiento.

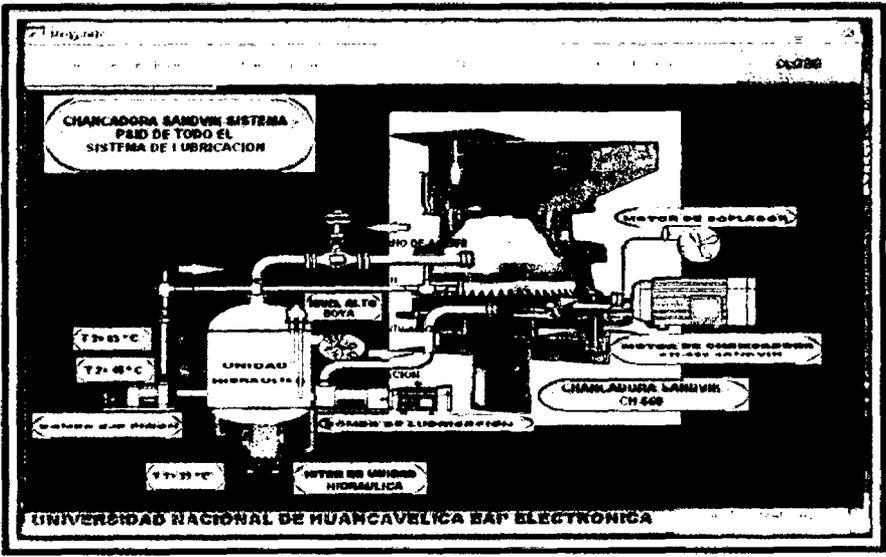


Figura 4.15. Pantalla unidad hidráulica y CH-660 (Fuente: Elaborado por el investigador).

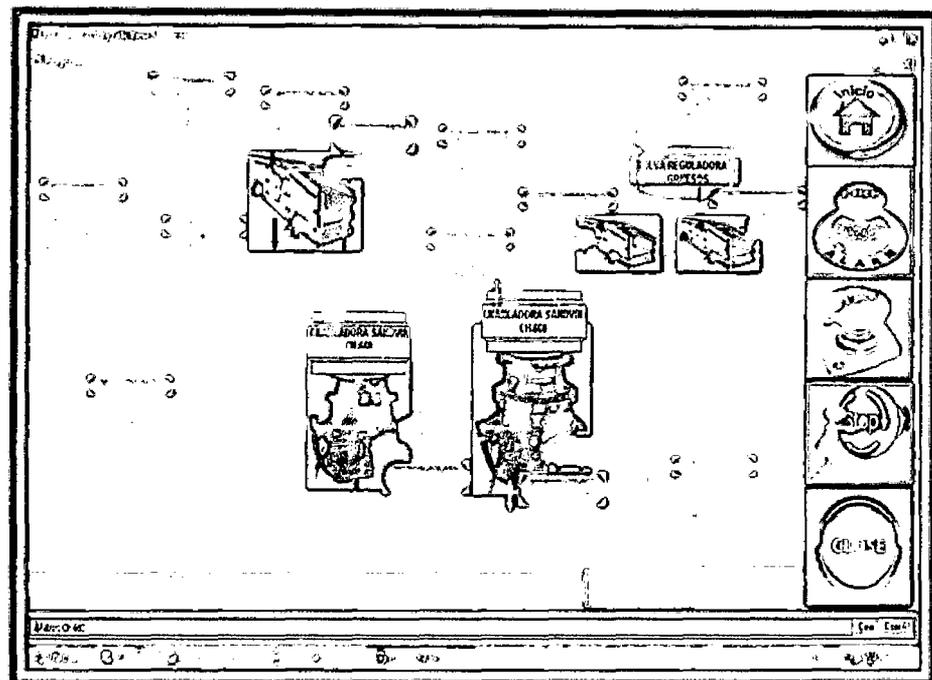


Figura 4.16. Sistema SCADA general en funcionamiento Detenido
(Fuente: Elaborado por el investigador).

4.1.3. Resultados de la producción de chancado de mineral

Una vez implementado el sistema SCADA con la arquitectura de control con redes redundantes, se registraron los datos de producción de mineral (Au) en la planta chancado de Marsa, Del 01 de abril hasta el 01 de julio del 2013 esto con la arquitectura de control basado en redes industriales. Mientras que del 24 de diciembre del 2012 al 25 de marzo del 2013 se registraron datos sin la instalación de la arquitectura de control basado en redes industriales.

Los datos se presentan a continuación para la producción de chancado de mineral.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Diseño de celdas de color	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200
Diseño de celdas de color con Arquitectura	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200
Diseño de celdas de color con Arquitectura (Real)	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200
Diseño de celdas de color con Arquitectura (Real)	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200
Espectro	01-abr-13	08-abr-13	15-abr-13	22-abr-13	29-abr-13	06-may-13	13-may-13	20-may-13	27-may-13	03-jun-13	10-jun-13	17-jun-13	24-jun-13	01-jul-13		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Diseño de celdas de color con Arquitectura	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200
Diseño de celdas de color con Arquitectura	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200
Diseño de celdas de color con Arquitectura	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200	35200

Tabla 4.1. Producción de chancado de mineral (Fuente: Elaborado por el investigador).

La empresa exige que la producción de chancado de mineral por la planta sea de 39 200 toneladas por semana, el mismo que se observa en el cuadro como una constante, así mismo en las celdas de color verde, se muestra la producción real sin la instalación de la arquitectura de control basado en redes industriales. Así mismo se presenta los datos reales de producción de la planta chancado con la arquitectura de control basado en redes industriales instalado los mismos que se observa de celdas de color amarillo; realizando una gráfica de comparación de ambas producciones se observa lo siguiente (ver figura 4.17).

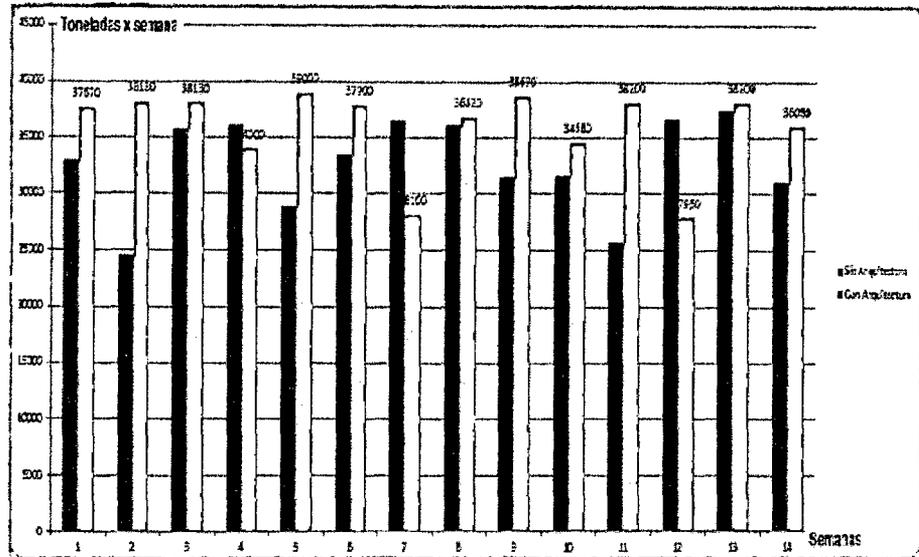


Figura 4.17. Producción de chancado de mineral con y sin la arquitectura de control basado en redes industriales (Fuente: Tabla N° 4.1).

La figura 4.17 muestra la producción de chancado de mineral y el aumento de la misma con la instalación de la arquitectura de control basado en redes industriales.

El promedio de producción de chancado de mineral sin el sistema de control instalado es de 32 769.64 toneladas por semana, así mismo cuando se instaló la arquitectura de control basado en redes industriales, el promedio de producción es de 35 962.86 toneladas por semana.

Con estos indicadores promedios se observa que hay un aumento de 3 192.22 toneladas por semana de la producción de chancado del mineral, siendo un 9.74% de aumento.

4.1.4. Resultados de la identificación y ubicación de fallas en tiempo real

El resumen de datos de identificación y ubicación de fallas se obtiene de las tablas de anexo 3.1 y 3.2 tanto con la arquitectura sin implementar como con la arquitectura implementada. En la tabla 4.2 se presenta el promedio de horas trabajadas, horas paradas, fallas eléctricas y/o mecánicas del sistema sin la arquitectura de control implementado en un periodo de 14

semanas. En la tabla 4.3 se presenta el promedio de horas trabajadas, horas paradas, fallas eléctricas y mecánicas con la arquitectura de control implementado en un periodo de 14 semanas.

Tabla 4.2. Promedio de horas trabajadas, horas paradas, fallas eléctricas y mecánicas sin la arquitectura de control implementada.

N° semana	Horas Trabajadas	Horas Paradas	Fallas Eléctricas y Mecánicas	Fecha/descripción de falla en la semana
1	135.7	25.3	8	24 dic Al 30 dic- 2012
				Falla térmica del motor faja 2 Cambio de contactor de faja 8 Cambio de malla de zaranda Chute de faja 9 atorado Cambio sensor velocidad cero faja 8.
2	100.93	60.07	18	31 dic-2012 Al 06 ene- 2013
				Tripeo de faja 7 Tripeo de faja 7 y 8. Tripeo de faja 7 y 8. Alarma de pull cord Chuteo de zarandada primaria "mineral húmedo" Desatoro de chute faja 8 Desatoro de faja 7, chuteo de zaranda primaria
3	146.87	14.13	6	07 ene Al 13 ene- 2013
				Tolva de finos llenos Bomba de alimentador vaiveres Molino de 10 ½X 12 parado Cambio de pistón alimentador Desalineamiento de faja polea cabeza
4	148.68	12.32	3	14 ene Al 20 ene- 2013
				Cambio de motor faja 4 Cambio de sensor posición de CH-660 chancadora secundaria Cambio de chaqueta CH-660 secundaria.
5	118.7	42.3	14	21 ene Al 27 ene- 2013
				Sensor de velocidad cero faja 9 Pull cord faja 5 Electroimán de faja 2 Tripeo de tablero CH-660 terciaria Falla de sensor de velocidad cero faja 8 y 2 Falla de sensor de velocidad cero faja 5 y cambio de motor 5.
6	127.71	23.29	10	28 ene Al 03 feb- 2013
				Pull cord faja 4 Falla de pistón alimentadores 1 Falla de pistón alimentadores 1 Tolva de finos lleno

7	150.16	10.84	8	04 feb Al 10 feb- 2013 Alarma de pull cord 4 Alarma de pull cord 9 Alarma de pull cord 1 Falla de pistones alimentadores 2 Parada de planta
8	148.68	12.32	9	11 feb Al 17 feb- 2013 Parada de planta Siniestro en sala eléctrica
9	129.58	31.42	11	18 feb Al 24 feb- 2013 Tolva de finos lleno Falla de sensor de velocidad cero faja 8 Falla de sensor de velocidad cero faja 2 Falla de sensor de velocidad cero faja 7 Falla de sensor de velocidad cero faja 4 Motor de zaranda desalineado
10	129.99	31.01	7	25 feb Al 03 mar- 2013 Sensor de nivel de aceite CH-660 Terciaria Sensor de chute en CH-660 Sensor de nivel en tolva reguladora Tripeo de faja 4 sobre carga
11	105.55	55.45	8	04 mar Al 10 mar- 2013 Tolva de finos lleno Cambio de aceite chancadora Cambio de bomba de lubricación chancadora Cambio de válvula chancadora
12	150.57	10.43	4	11 mar Al 17 mar- 2013 Parada de motor CH-600 Parada de planta Falta de mineral Sensor de nivel de tolva
13	153.81	7.19	2	18 mar Al 24 mar- 2013 Pistón neumático atorado de vaivenes 1 y 2 Bomba de alimentador vaivenes 1 y 2
14	127.32	43.68	16	25 mar Al 31 mar- 2013 Tolva de finos lleno Pistón de finos lleno Bomba de alimentador vaivenes 1 y 2

Fuente: Elaborado por el investigador.

Tabla 4.3. Promedio de horas trabajadas, horas paradas, fallas eléctricas y mecánicas

Nº semana	Horas Trabajadas	Horas Paradas	Fallas Eléctricas y Mecánicas	Fecha/descripción de falla en la semana
1	154.72	6.28	6	01 abr Al 07 abr - 2013 Endavamiento HSS faja 3 Sensor de nivel alto en tolva de finos, para la planta CH-660 Aceite mayor a 65 °C Endavamiento de chute llenado de CH-660 terciaria Chute de zaranda metso lleno Sensor de tolva de grueso descalibrado Alineamiento de motor faja 3
2	156.81	4.19	14	08 abr Al 14 abr-2013 Chute de faja 3,2,5,8 y 7 Tolva de grueso lleno Sensor de des alineamiento de faja 3 y 5 Sensor de alineamiento faja 3 polea de cabeza Alineamiento de faja 3 y 5 Chuteo de zaranda primaria Alineamiento de la faja 3 y polea de cabeza
3	156.61	4.39	4	15 abr Al 21 abr 2013 Sensor de chute faja 4, y tolva de gruesos Sensor de nivel alto tolva de finos Sensor de nivel alto tolva de finos Desatoro de chute de faja 4
4	139.64	21.36	11	22 abr Al 28 abr- 2013 Sensor de nivel alto tolva de finos Cambio de sensor velocidad cero de faja 8 Alarma por falla térmica CH-660 " sensor de temperatura del motor Sensor de nivel alto tolva de finos Cambio de malla zaranda vibratoria 2 y 3 Cambio de chaqué chancadora terciaria CH-660 Tripeo de motor faja 8, alineamiento reductor de faja
5	160.18	0.82	1	29 abr Al 05 may-2013 Sensor de nivel alto tolva de finos
6	155.66	5.34	5	06 mayo Al 12 may-2013 Falla de comunicación Rio-005 Sensor de nivel alto tolva de finos Sensor de nivel alto tolva de finos Sensor de nivel alto tolva de finos Cambio de motor de zaranda vibratoria.
7	115.41	45.59	5	13 mayo Al 19 may-2013 Alarma de sensor de tolva de gruesos Tripeo de motor de zaranda primaria Tripeo de motor zaranda sobre carga Cambio de estructura del motor zaranda primaria

8	151.23	9.78	6	20 mayo Al 26 mayo- 2013 Falla de enclavamiento de Vibratorios 1 Cambio de tablero Vibratorio 1 Falla de red DeviciNet Fijación de Zaranda vibratoria
9	158.82	2.18	2	27 mayo Al 02 jun- 2013 Sensor de chute faja 7 Sensor de nivel alto tolva de finos Fijación de Zaranda vibratoria
10	142.03	18.98	7	03-jun Al 09 jun 2013 Alarma sensor de velocidad cero faja 6 Cambio del sentido de chute faja 8, sensor de faja 3 Sensor de nivel alto tolva de finos Sensor de nivel alto tolva de finos Sensor de nivel alto tolva de finos Sensor de nivel alto tolva de finos Falla del reductor del molino 9 1/2 X 12 Fijación de zaranda vibradora
11	156.89	4.11	4	10 jun Al 16 jun-2013 Falla de comunicación de RIO-003 Alarma sensor de alineamiento de faja polea de cabeza 3 Alineamiento de la faja 3 Alineamiento de la faja 3
12	114.79	46.21	12	17 jun Al 23 jun-2013 Falla térmica del motor CH-6600 terciaria Falla de desbalance de voltaje, sensor de chute faja 3 y 4 Sensor de nivel alto de tolva de finos Pérdida de fase del motor CH-660, tripeo del motor CH-660 Chancadora terciaria ajustes de set abertura Desatoro de carga en CH-660 Desatoro de Zaranda vibratoria
13	156.89	4.11	5	24 jun Al 30 jun-2013 Sensor de chute faja 7 Sensor de temperatura aceite zaranda Tripeo de motor zaranda secundaria , sensor de temperatura Desatoro de chute zaranda Cambio de aceite zaranda secundaria
14	148.17	12.81	10	01 jul Al 07 jul-2013 Sensor de ruptura de faja, sensor de chute de atoro faja 2 y tripeo de faja 8 Sensor de nivel de carga chancadora terciaria Desatoro de carga faja 8 polea de cola, cambio de chaqueta Desatoro de carga en CH-660 terciaria

Fuente: Elaborado por el investigador.

En total se detectaron en el sistema sin arquitectura de control 124 fallas y en el sistema con la arquitectura implementada 92 fallas.

4.2 DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos tanto para la producción de chancado de mineral como de la identificación y ubicación de fallas en tiempo real conlleva a demostrar las hipótesis planteadas. El proceso de contraste de hipótesis requiere ciertos procedimientos, por lo que se ha podido verificar los planteamientos de diversos autores y cada uno de ellos con sus respectivas características y peculiaridades, teniendo en cuenta que los datos, generados para la investigación, fueron agrupados en promedios semanales, por lo que se obtiene 13 grados de libertad, siendo el método "T de Student" el adecuado para la prueba de las hipótesis. Se realiza la prueba de las hipótesis específicas 1 y 2, una vez probado estas hipótesis específicas se da por probada la hipótesis general.

4.2.1. Prueba de hipótesis específica 1

Hipótesis específica 1: Con la implementación de la arquitectura de control basado en la red industrial redundante, se mejora la producción de chancado de mineral en más del 8%, en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSÁ.

Planteamiento de la hipótesis específica 1 de trabajo:

Hipótesis Nula= H1o: Con la implementación de la arquitectura de control basado en la red industrial redundante, no se mejora la producción de chancado de mineral en más del 8 %, en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSÁ.

Hipótesis Alterna= H1a: Con la implementación de la arquitectura de control basado en la red industrial redundante, se mejora la producción de chancado de mineral en más del 8 %, en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSÁ.

a) **Cálculo de parámetros estadísticos:**

Nivel de significancia: $\alpha=0,05$

Grados de libertad: $gl = n-1 = 14-1 = 13;$

Buscando a 5 % de significancia y 13 grados de libertad en la tabla estadística de T de Student se tiene que el punto crítico o "tc" es igual a 1.7709; por lo tanto:

La figura 4.18, muestra las regiones de aceptación y de rechazo para la hipótesis nula.

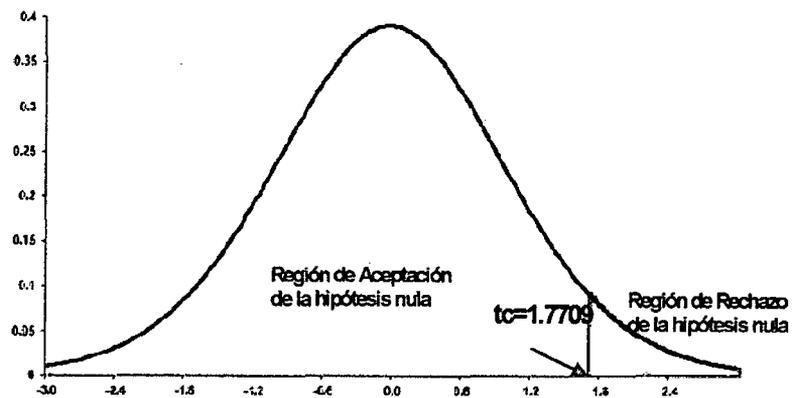


Figura 4.18. Muestra de t crítico para la prueba T de Student
(Fuente: Elaborado por el investigador).

b) Regla de decisión:

Para la prueba de la hipótesis nula se plantea la siguiente regla de decisión:

Aceptar H_0 si $t_1 \leq 1.7709$

Rechazar H_0 si $t_1 > 1.7709$

Tabla 4.4. Porcentaje de producción de mineral chancado por semana sin la arquitectura de control implementado y con la arquitectura de control implementado

Nº de semana	Producción ideal de mineral chancado semanal (Toneladas)	% Producción de mineral chancado semanal sin arquitectura de control instalada	% Producción de mineral chancado semanal con arquitectura de control instalada
1	39200	84.28571429	96.09693878
2	39200	62.69132653	97.39795918
3	39200	91.2244898	97.27040816
4	39200	92.34693878	86.73469388
5	39200	73.7244898	99.48979592

6	39200	85.53571429	96.68367347
7	39200	93.26530612	71.68367347
8	39200	92.34693878	93.92857143
9	39200	80.48469388	98.64795918
10	39200	80.73979592	88.21428571
11	39200	65.56122449	97.44897959
12	39200	93.52040816	71.30102041
13	39200	95.53571429	97.44897959
14	39200	79.08163265	92.04081633
Promedio		83.5960277	91.74198251

Fuente: Elaborado por el investigador.

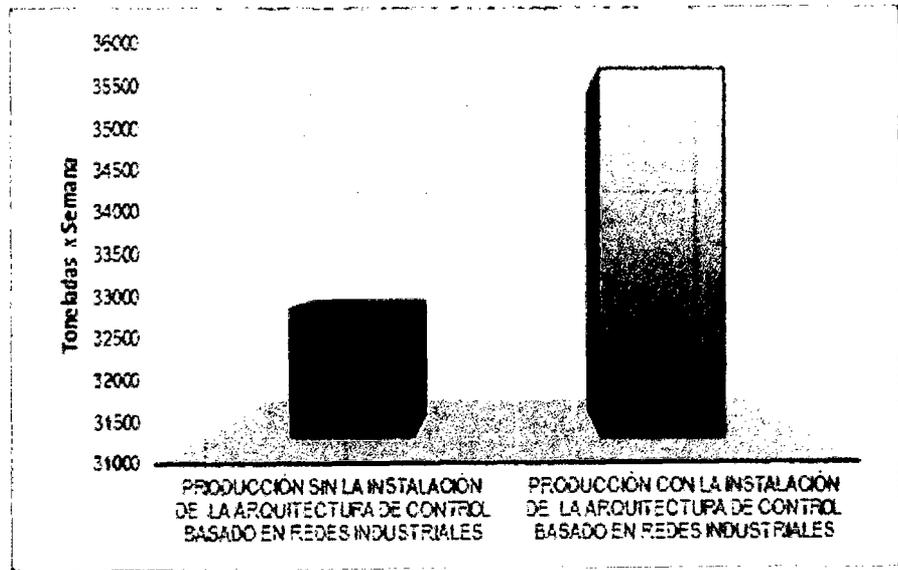


Figura 4.19. Aumento de producción de chancado de mineral con el sistema de control instalado (Fuente: Elaborado por el investigador).

En base a la tabla 4.4 y considerando el porcentaje promedio de producción de mineral por semana sin la arquitectura de control implementado y con la arquitectura de control implementado se calcula el valor de "t1":

$$t_1 = \frac{u_2 - u_1}{s/\sqrt{n}} = \frac{83.5960 - 91.74198}{17,113678/\sqrt{14}} = 1.781$$

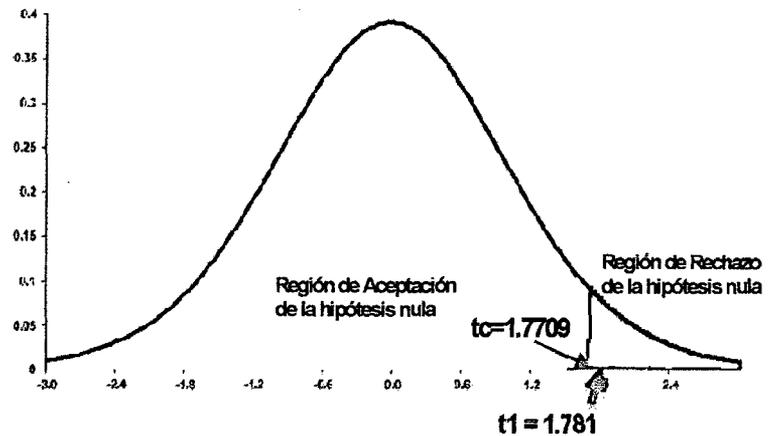


Figura 4.20. Ubicación de "t₁" calculado en la región de rechazo (Fuente: Elaborado por el investigador).

c) Decisión Estadística:

La diferencia de promedios $u_2 - u_1 = 8.1460\%$ indica el incremento de producción de mineral chancado, y tomando en cuenta que el valor de t_1 calculado es mayor que t crítico $t_1 > t_c$, en función a la regla de decisión planteada se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1).

d) Conclusión Estadística:

Se ha demostrado con un nivel de significancia del 5% y la prueba T de Student que con la implementación de la arquitectura de control basado en la red industrial redundante, se mejora la producción de chancado de mineral en más del 8 %, en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSÁ.

4.2.2 Prueba de hipótesis específica 2

a) Hipótesis

Con la arquitectura de control basado en redes industriales se mejora significativamente la ubicación e identificación de las fallas en tiempo real en la Mina MARSÁ

b) Planteamiento de la hipótesis

Hipótesis Nula:

La arquitectura de control basado en redes industriales, no mejora la identificación de 26.41 horas de parada, por las fallas o averías de los instrumentos en la planta chancado de la mina MARSÁ.

Hipótesis Alternativa:

La arquitectura de control basado en redes industriales, mejora la identificación menor a 26.41 horas de parada, por las fallas o averías de los instrumentos en la planta chancado de la mina MARSÁ.

c) Nivel de significancia o riesgo:

Nivel de significancia: $\alpha=0,05$

Grados de libertad: $gl = n_1-1 + n_2-1 = 14-1 + 14-1=26$;

Buscando a 5% de significancia y 28 grados de libertad en la prueba t de Student se tiene que el punto crítico o "tc" es igual a -1.705; por lo tanto:

Valor crítico de la Tc = -1.705

La figura 4.21, se muestra las regiones de aceptación y de rechazo para la hipótesis nula

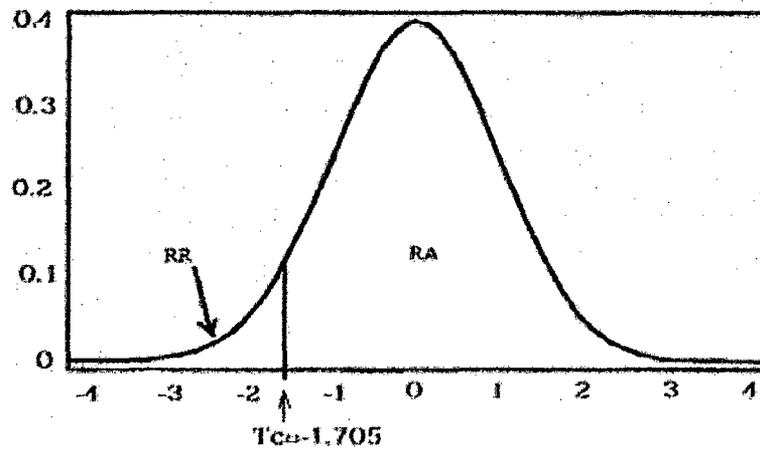


Figura 4.21. Prueba de t-Student (Fuente: Elaborado por el investigador).

Prueba de la hipótesis nula

Aceptar H_0 si $-1.075 \geq t$

Rechazar H_0 si $t < -1.075$

Los cuadros siguientes muestran los datos: Horas trabajadas, horas paradas, fallas eléctricas y mecánicas, tomados en 14 semanas, con y sin la arquitectura de control implementada en la Planta chancados.

Tabla 4.5. Horas trabajadas, horas paradas y fallas eléctricas y mecánicas en la planta chancada sin la implementación de la arquitectura.

Ideal 23 horas				Antes de Arquitectura		Horas de Trabajadas	Horas de Paradas	Fallas eléctricas	Fallas Mecánicas
24-dic-12		TPD	39200	TDP	33040				
	24-dic	5600		5500		22.59	0.41		
	25-dic	5600		2000		8.21	14.79	5.00	2.00
	26-dic	5600		5600		23.00	0.00		
	27-dic	5600		5100		20.95	2.05		
	28-dic	5600		4500		18.48	4.52	1.00	
	29-dic	5600		4800		19.71	3.29	2.00	1.00
	30-dic	5600		5540		22.75	0.25		

31-dic-12		TPD	39200	TDP	24575				
	31-dic	5600		5465		22.45	0.55	1.00	
	01-ene	5600		0		0.00	23.00		
	02-ene	5600		2800		11.50	11.50	3.00	3.00
	03-ene	5600		3600		14.79	8.21	2.00	2.00
	04-ene	5600		4800		19.71	3.29		
	05-ene	5600		2560		10.51	12.49	3.00	3.00
	06-ene	5600		5350		21.97	1.03	1.00	

07-ene-13		TPD	39200		35760				
	07-ene	5600		5600		23.00	0.00		
	08-ene	5600		5500		22.59	0.41		1.00
	09-ene	5600		5100		20.95	2.05	2.00	
	10-ene	5600		5000		20.54	2.46		1.00
	11-ene	5600		5560		22.84	0.16		
	12-ene	5600		4800		19.71	3.29		1.00
	13-ene	5600		4200		17.25	5.75	1.00	

14-ene-13			TPD	39200		36200				
	14-ene		5600		5000		20.54	2.46	1.00	
	15-ene		5600		5600		23.00	0.00		
	16-ene		5600		5600		23.00	0.00		
	17-ene		5600		5600		23.00	0.00		
	18-ene		5600		5600		23.00	0.00		
	19-ene		5600		5600		23.00	0.00		
	20-ene		5600		3200		13.14	9.86	1.00	1.00

21-ene-13			TPD	39200		28900				
	21-ene		5600		4010		16.47	6.53	3.00	
	22-ene		5600		4500		18.48	4.52	1.00	
	23-ene		5600		4200		17.25	5.75	2.00	
	24-ene		5600		3890		15.98	7.02		1.00
	25-ene		5600		3900		16.02	6.98	3.00	1.00
	26-ene		5600		4100		16.84	6.16	2.00	
	27-ene		5600		4300		17.66	5.34	1.00	

28-ene-13			TPD	39200		33530				
	28-ene		5600		4800		19.71	3.29	1.00	
	29-ene		5600		4600		18.89	4.11	2.00	
	30-ene		5600		5050		20.74	2.26	3.00	
	31-ene		5600		5030		20.66	2.34	1.00	
	01-feb		5600		4650		19.10	3.90		1.00
	02-feb		5600		4680		19.22	3.78		1.00
	03-feb		5600		4720		19.39	3.61		1.00

04-feb-13			TPD	39200		36560				
	04-feb		5600		4980		20.45	2.55	2.00	
	05-feb		5600		5300		21.77	1.23	1.00	
	06-feb		5600		5150		21.15	1.85	1.00	
	07-feb		5600		5300		21.77	1.23	1.00	
	08-feb		5600		5600		23.00	0.00		
	09-feb		5600		4650		19.10	3.90		2.00
	10-feb		5600		5580		22.92	0.08	1.00	

11-feb-13		TPD	39200		36200				
	11-feb	5600		5600		23.00	0.00		
	12-feb	5600		5550		22.79	0.21	1.00	
	13-feb	5600		5400		22.18	0.82	1.00	
	14-feb	5600		5300		21.77	1.23	1.00	
	15-feb	5600		3150		12.94	10.06	2.00	4.00
	16-feb	5600		5600		23.00	0.00		
	17-feb	5600		5600		23.00	0.00		

18-feb-13		TPD	39200		31550				
	18-feb	5600		2800		11.50	11.50	1.00	2.00
	19-feb	5600		2900		11.91	11.09	1.00	2.00
	20-feb	5600		4500		18.48	4.52	2.00	
	21-feb	5600		4900		20.13	2.88	1.00	
	22-feb	5600		5600		23.00	0.00		
	23-feb	5600		5400		22.18	0.82	1.00	
	24-feb	5600		5450		22.38	0.62	1.00	

25-feb-13		TPD	39200		31650				
	25-feb	5600		5600		23.00	0.00		
	26-feb	5600		5400		22.18	0.82	1.00	
	27-feb	5600		5450		22.38	0.62	1.00	
	28-feb	5600		2800		11.50	11.50	2.00	
	01-mar	5600		3000		12.32	10.68	1.00	
	02-mar	5600		3800		15.61	7.39	2.00	
	03-mar	5600		5600		23.00	0.00		

04-mar-13		TPD	39200		25700				
	04-mar	5600		5600		23.00	0.00		
	05-mar	5600		0		0.00	23.00		
	06-mar	5600		1500		6.16	16.84	2.00	
	07-mar	5600		4500		18.48	4.52	1.00	
	08-mar	5600		5600		23.00	0.00		
	09-mar	5600		4900		20.13	2.88	1.00	
	10-mar	5600		3600		14.79	8.21	1.00	3.00

11-mar-13			TPD	39200		36660				
	11-mar		5600		4900		20.13	2.88	1.00	
	12-mar		5600		4860		19.96	3.04	1.00	
	13-mar		5600		5000		20.54	2.46	1.00	
	14-mar		5600		5600		23.00	0.00		
	15-mar		5600		5100		20.95	2.05		1.00
	16-mar		5600		5600		23.00	0.00		
	17-mar		5600		5600		23.00	0.00		

18-mar-13			TPD	39200		37450				
	18-mar		5600		5600		23.00	0.00		
	19-mar		5600		5600		23.00	0.00		
	20-mar		5600		5600		23.00	0.00		
	21-mar		5600		4050		16.63	6.37	2.00	
	22-mar		5600		5600		23.00	0.00		
	23-mar		5600		5600		23.00	0.00		
	24-mar		5600		5400		22.18	0.82		

25-mar-13			TPD	39200		31000				
	25-mar		5600		5600		23.00	0.00		
	26-mar		5600		4200		17.25	5.75	4.00	
	27-mar		5600		5300		21.77	1.23	1.00	
	28-mar		5600		5600		23.00	0.00		
	29-mar		5600		5500		22.59	0.41	1.00	
	30-mar		5600		3200		13.14	9.86	3.00	1.00
	31-mar		5600		1600		6.57	16.43	4.00	2.00

hrh

Datos experimentados para las horas trabajadas, horas paradas por fallas, fallas eléctricas y fallas mecánicas, antes de la instalación de la arquitectura de control.

Tabla 4.6. Horas trabajadas, horas paradas y fallas eléctricas y mecánicas en la planta chancada con la implementación de la arquitectura.

Arquitectura Implementada				Horas de Trabajadas	Horas de Paradas	Fallas eléctrica e instrumentación	Fallas Mecánicas
01-abr-11		TDP	37670				
	01-abr	5560		22.84	0.16	1.00	
	02-abr	5600		23.00	0.00		
	03-abr	5200		21.36	1.64	1.00	
	04-abr	5300		21.77	1.23		1.00
	05-abr	5200		21.36	1.64		1.00
	06-abr	5600		23.00	0.00		
	07-abr	5210		21.40	1.60	4.00	
08-abr-11		TDP	38180				
	08-abr	5400		22.18	0.82	6.00	2.00
	09-abr	5600		23.00	0.00		
	10-abr	5600		23.00	0.00		
	11-abr	5600		23.00	0.00		
	12-abr	5480		22.51	0.49	1.00	1.00
	13-abr	5300		21.77	1.23	1.00	
	14-abr	5200		21.36	1.64	1.00	2.00
15-abr-11			38130				
	15-abr	5600		23.00	0.00		
	16-abr	5600		23.00	0.00		
	17-abr	5380		22.10	0.90	1.00	1.00

	18-abr	5400		22.18	0.82		
	19-abr	5150		21.15	1.85	1.00	
	20-abr	5400		22.18	0.82	1.00	
	21-abr	5600		23.00	0.00		
22-abr-11			34000				
	22-abr	5400		22.18	0.82	1.00	
	23-abr	4200		17.25	5.75	2.00	1.00
	24-abr	5600		23.00	0.00		
	25-abr	5500		22.59	0.41	1.00	
	26-abr	5300		21.77	1.23		
	27-abr	3500		14.38	8.63	1.00	1.00
	28-abr	4500		18.48	4.52	1.00	3.00
29-abr-11			39000				
	29-abr	5600		23.00	0.00		
	30-abr	5600		23.00	0.00		
	01-may	5600		23.00	0.00		
	02-may	5600		23.00	0.00		
	03-may	5600		23.00	0.00		
	04-may	5400		22.18	0.82	1.00	
	05-may	5600		23.00	0.00		
06-may-11			37900				
	06-may	5400		22.18	0.82	1.00	
	07-may	5500		22.59	0.41	1.00	
	08-may	4900		20.13	2.88	1.00	
	09-may	5600		23.00	0.00		
	10-may	5600		23.00	0.00		
	11-may	5600		23.00	0.00		
	12-may	5300		21.77	1.23	1.00	1.00
13-may-11			28100				
	13-may	5600		23.00	0.00		
	14-may	5600		23.00	0.00		
	15-may	5000		20.54	2.46	1.00	
	16-may	0		0.00	23.00		

	17-may	1200		4.93	18.07	1.00	1.00
	18-may	5400		22.18	0.82		
	19-may	5300		21.77	1.23	1.00	1.00
20-may-11			36820				
	20-may	5200		21.36	1.64	2.00	
	21-may	5300		21.77	1.23	1.00	
	22-may	5600		23.00	0.00		
	23-may	4500		18.48	4.52	1.00	1.00
	24-may	5600		23.00	0.00		
	25-may	5600		23.00	0.00		
	26-may	5020		20.62	2.38	1.00	
27-may-11			38670				
	27-may	5600		23.00	0.00		
	28-may	5600		23.00	0.00		
	29-may	5600		23.00	0.00		
	30-may	5120		21.03	1.97	1.00	
	31-may	5600		23.00	0.00		
	01-jun	5550		22.79	0.21	1.00	
	02-jun	5600		23.00	0.00		
03-jun-11			34580				
	03-jun	5480		22.51	0.49	1.00	
	04-jun	5300		21.77	1.23	3.00	
	05-jun	5600		23.00	0.00	1.00	
	06-jun	5600		23.00	0.00		
	07-jun	5600		23.00	0.00		
	08-jun	5000		20.54	2.46		
	09-jun	2000		8.21	14.79	1.00	1.00
10-jun-11			38200				
	10-jun	5400		22.18	0.82	1.00	
	11-jun	5300		21.77	1.23	1.00	1.00
	12-jun	5100		20.95	2.05		1.00
	13-jun	5600		23.00	0.00		

	14-jun	5600		23.00	0.00		
	15-jun	5600		23.00	0.00		
	16-jun	5600		23.00	0.00		
17-jun-11			27950				
	17-jun	2800		11.50	11.50	4.00	
	18-jun	5600		23.00	0.00		
	19-jun	5500		22.59	0.41	1.00	
	20-jun	0		0.00	23.00		
	21-jun	4100		16.84	6.16	2.00	1.00
	22-jun	4900		20.13	2.88	2.00	1.00
	23-jun	5050		20.74	2.26		1.00
24-jun-11			38200				
	24-jun	5250		21.56	1.44	1.00	1.00
	25-jun	5600		23.00	0.00		
	26-jun	5600		23.00	0.00		
	27-jun	5550		22.79	0.21	1.00	
	28-jun	5600		23.00	0.00		
	29-jun	5400		22.18	0.82	1.00	
	30-jun	5200		21.36	1.64		1.00
01-jul-11			36080				
	01-jul	5480		22.51	0.49	1.00	
	02-jul	5600		23.00	0.00		
	03-jul	5400		22.18	0.82	1.00	
	04-jul	5600		23.00	0.00		
	05-jul	5500		22.59	0.41	3.00	
	06-jul	3500		14.38	8.63	1.00	2.00
	07-jul	5000		20.54	2.46	1.00	1.00

Tomando el resumen de promedios de cada semana, para ambos casos:

Tabla 4.7. Promedio de horas trabajadas, horas paradas y fallas eléctricas y mecánicas.

Sin la arquitectura de control implementada				
N°	Horas de Trabajadas	Horas de Paradas	Fallas Eléctricas y Mecánicas	Fechas
1	135.7	25.3	8	24 dic Al 30 dic- 2012
				Falla térmica del motor faja 2 Cambio de contactor de faja 8 Cambio de malla de zaranda Chute de faja 9 atorado Cambio sensor velocidad cero faja 8.
2	100.93	60.07	18	31 dic-2012 Al 06 ene- 2013
				Tripeo de faja 7 Tripeo de faja 7 y 8. Tripeo de faja 7 y 8. Alarma de pull cord Chuteo de zarandada primaria "mineral húmedo" Desatoro de chute faja 8 Desatoro de faja 7, chuteo de zaranda primaria
3	146.87	14.13	6	07 ene Al 13 ene- 2013
				Tolva de finos llenos Bomba de alimentador vaivenes Molino de 10 ½ X 12 parado Cambio de pistón alimentador Desalineamiento de faja polea cabeza
4	148.68	12.32	3	14 ene Al 20 ene- 2013
				Cambio de motor faja 4 Cambio de sensor posición de CH-660 chancadora secundaria Cambio de chaqueta CH-660 secundaria.
5	118.7	42.3	14	21 ene Al 27 ene- 2013
				Sensor de velocidad cero faja 9 Pull cord faja 5 Electroimán de faja 2 Tripeo de tablero CH-660 terciaria Falla de sensor de velocidad cero faja 8 y 2 Falla de sensor de velocidad cero faja 5 y cambio de motor 5.
6	127.71	23.29	10	28 ene Al 03 feb- 2013
				Pull cord faja 4 Falla de pistón alimentadores 1 Falla de pistón alimentadores 1 Tolva de finos lleno
7	150.16	10.84	8	04 feb Al 10 feb- 2013

				Alarma de pull cord 4 Alarma de pull cord 9 Alarma de pull cord 1 Falla de pistones alimentadores 2 Parada de planta
8	148.68	12.32	9	11 feb Al 17 feb- 2013
				Parada de planta Siniestro en sala eléctrica
9	129.58	31.42	11	18 feb Al 24 feb- 2013
				Tolva de finos lleno Falla de sensor de velocidad cero faja 8 Falla de sensor de velocidad cero faja 2 Falla de sensor de velocidad cero faja 7 Falla de sensor de velocidad cero faja 4 Motor de zaranda desalineado
10	129.99	31.01	7	25 feb Al 03 mar- 2013
				Sensor de nivel de aceite CH-660 Terciaria Sensor de chute en CH-660 Sensor de nivel en tolva reguladora Tripeo de faja 4 sobre carga
11	105.55	55.45	8	04 mar Al 10 mar- 2013
				Tolva de finos lleno Cambio de aceite chancadora Cambio de bomba de lubricación chancadora Cambio de válvula chancadora
12	150.57	10.43	4	11mar Al 17 mar- 2013
				Parada de motor CH-600 Parada de planta Falta de mineral Sensor de nivel de tolva
13	153.81	7.19	2	18mar Al 24 mar- 2013
				Pistón neumático atorado de vaivenes 1 y 2. Bomba de alimentador vaivenes 1 y 2
14	127.32	33.68	16	25mar Al 31 mar- 2013
				Tolva de finos lleno Pistón de finos lleno Bomba de alimentador vaivenes 1 y 2

Tabla 4.8. Resumen de promedio de horas trabajadas, horas paradas y fallas eléctricas y mecánicas.

Sin la arquitectura de control implementada				
N°	Horas trabajadas	Horas paradas	Fallas eléctricas y mecánicas	Fecha
1	135.7	25.3	8	24 dic Al 30 dic- 2012
2	100.93	60.07	18	31 dic-2012 Al 06 ene- 2013
3	146.87	14.13	6	07 ene Al 13 ene- 2013
4	148.68	12.32	3	14 ene Al 20 ene- 2013
5	118.7	42.3	14	21 ene Al 27 ene- 2013
6	127.71	23.29	10	28 ene Al 03 feb- 2013
7	150.16	10.84	8	04 feb Al 10 feb- 2013
8	148.68	12.32	9	11 feb Al 17 feb- 2013
9	129.58	31.42	11	18 feb Al 24 feb- 2013
10	129.99	31.01	7	25 feb Al 03 mar- 2013
11	105.55	55.45	8	04 mar Al 10 mar- 2013
12	150.57	10.43	4	11mar Al 17 mar- 2013
13	153.81	7.19	2	18mar Al 24 mar- 2013
14	127.32	33.68	16	25mar Al 31 mar- 2013

(Fuente: Elaborado por el investigador).

Tabla 4.9. Resumen de de la estadística descriptiva de horas paradas.

Media	26.41
Error típico	4.54
Mediana	24.30
Moda	12.32
Desviación estándar	16.99
Varianza de la muestra	288.76
Curtosis	-0.28
Coefficiente de asimetría	0.82
Rango	52.88
Mínimo	7.19
Máximo	60.07
Suma	369.75
Cuenta	14

(Fuente: Elaborado por el investigador).

El promedio de las horas no productivas es de 26.41, este valor es la media de horas de no producción, la misma que se considera como $\mu_1=26.41$

Tabla 4.10. Promedio de horas trabajadas, horas paradas y fallas eléctricas y mecánicas.

Con la arquitectura de control implementada				
N°	Horas de Trabajadas	Horas de Paradas	Fallas Eléctricas y Mecánicas	Fechas
1	154.72	6.28	6	01 abr Al 07 abr - 2013
				Enclavamiento HSS faja 3 Sensor de nivel alto en tolva de finos, para la planta CH-660 Aceite mayor a 65°C Enclavamiento de chute llenado de CH-660 terciaria Chute de zaranda meste lleno Sensor de tolva de grueso descalibrado Alineamiento de motor faja 3
2	156.81	4.19	14	08 abr Al 14 abr-2013
				Chute de faja 3,2,5,8 y 7 Tolva de grueso lleno Sensor de desalineamiento de faja 3 y 5 Sensor de alineamiento faja3 polea de cabeza Alineamiento de faja 3 y 5 Chuteo de zaranda primaria Alineamiento de la faja 3 y polea de cabeza
3	156.61	4.39	4	15 abr Al 21 abr 2013
				Sensor de chute faja 4, y tolva de gruesos Sensor de nivel alto tolva de finos Sensor de nivel alto tolva de finos Desatoro de chute de faja 4
4	139.64	21.36	11	22 abr Al 28 abr- 2013
				Sensor de nivel alto tolva de finos Cambio de sensor velocidad cero de faja 8 Alarma por falla térmica CH-660 " sensor de temperatura del motor Sensor de nivel alto tolva de finos Cambio de malla zaranda vibratoria 2 y 3 Cambio de chaqué chancadora terciaria CH-660 Tripeo de motor faja 8, alineamiento reductor de faja
5	160.18	0.82	1	29 abr Al 05 may-2013
				Sensor de nivel alto tolva de finos
6	155.66	5.34	5	06 may Al 12 may-2013
				Falla de comunicación Rio-005 Sensor de nivel alto tolva de finos Sensor de nivel alto tolva de finos Sensor de nivel alto tolva de finos Cambio de motor de zaranda vibratoria.
7	115.41	45.59	5	13 may Al 19 may-2013
				Alarma de sensor de tolva de gruesos Tripeo de motor de zaranda primaria Tripeo de motor zaranda sobre carga

				Cambio de estructura del motor zaranda primari
8	151.23	9.78	6	20 may Al 26 may- 2013
				Falla de enclavamiento de Vibratorios 1 Cambio de tablero Vibratorio 1 Falla de red DeviciNet Fijación de Zaranda vibratoria
9	158.82	2.18	2	27 may Al 02 jun- 2013
				Sensor de chute faja 7 Sensor de nivel alto tolva de finos Fijación de Zaranda vibratoria
10	142.03	18.98	7	03-jun Al 09 jun 2013
				Alarma sensor de velocidad cero faja 6 Cambio del snocor de chute faja 8, sensor de faja 3 Sensor de nivel alto tolva de finos Sensor de nivel alto tolva de finos Sensor de nivel alto tolva de finos Sensor de nivel alto tolva de finos Falla del reductor del molino 9 1/2 X 12 Fijación de zaranda vibradora
11	156.89	4.11	4	10 jun Al 16 jun-2013
				Falla de comunicación de RIO-003 Alarma sensor de alineamiento de faja polea de cabeza 3 Alineamiento de la faja 3 Alineamiento de la faja 3
12	114.79	46.21	12	17 jun Al 23 jun-2013
				Falla térmica del motor CH-660 terciaria Falla de desbalance de voltaje, sensor de chute faja 3 y 4 Sensor de nivel alto de tolva de finos Pérdida de fase del motor CH-660, tripeo del motor CH-660 Chancadora terciaria ajustes de set abertura Desatoro de carga en CH-660 Desatoro de Zaranda vibratoria
13	156.89	4.11	5	24 jun Al 30 jun-2013
				Sensor de chute faja 7 Sensor de temperatura aceite zaranda Tripeo de motor zaranda secundaria , sensor de temperatura Desatoro de chute zaranda Cambio de aceite zaranda secundaria
14	148.19	12.81	10	01 jul Al 07 jul-2013
				Sensor de ruptura de faja, sensor de chute de atoro faja 2 y tripeo de faja 8 Sensor de nivel de carga chancadora terciaria Desatoro de carga faja 8 polea de cola, cambio de chaqueta Desatoro de carga en CH-660 terciaria.

(Fuente: Elaborado por el investigador).

A continuación se muestra la tabla donde con el sistema de control implementado

Tabla 4.11. Resumen de promedio de horas trabajadas, horas paradas y fallas eléctricas y mecánicas.

Con la arquitectura de control implementada				
N°	Horas de Trabajadas	Horas de Paradas	Fallas Eléctricas y Mecánicas	Fechas
1	154.72	6.28	6	01 abr Al 07 abr - 2013
2	156.81	4.19	14	08 abr Al 14 abr-2013
3	156.61	4.39	4	15 abr Al 21 abr 2013
4	139.64	21.36	11	22 abr Al 28 abr- 2013
5	160.18	0.82	1	29 abr Al 05 may-2013
6	155.66	5.34	5	06 may Al 12 may-2013
7	115.41	45.59	5	13 may Al 19 may-2013
8	151.23	9.78	6	20 may Al 26 may- 2013
9	158.82	2.18	2	27 may Al 02 jun- 2013
10	142.03	18.98	7	03-jun Al 09 jun 2013
11	156.89	4.11	4	10 jun Al 16 jun-2013
12	114.79	46.21	12	17 jun Al 23 jun-2013
13	156.89	4.11	5	24 jun Al 30 jun-2013
14	148.19	12.81	10	01 jul Al 07 jul-2013

(Fuente: Elaborado por el investigador).

Tabla 4.12 Resumen de la estadística descriptiva de horas paradas.

Media	13.30
Error típico	4.03
Mediana	5.81
Moda	4.11
Desviación estándar	15.09
Varianza de la muestra	227.61
Curtosis	1.69
Coficiente de asimetría	1.64
Rango	45.39
Mínimo	0.82
Máximo	46.21
Suma	186.15
Cuenta	14

(Fuente: Elaborado por el investigador).

El valor de la media de horas no productivas a causa de las fallas mecánicas y eléctricas detectadas en la planta chancado es de $\mu_2=13.30$, con una desviación estándar de 15.09, la curtosis positiva

(1.69) nos dice que los datos están más concentradas en la parte central.

En cuanto a la asimetría (1.64), los datos tienen una dispersión más a la cola a la izquierda.

Como el diseño es experimental, mostramos los datos experimentados para las horas trabajadas, horas paradas por fallas, fallas eléctricas y fallas mecánicas, antes de la instalación de la arquitectura de control.

Tabla 4.13. Resumen de promedios y desviación estándar de horas trabajadas, horas paradas y fallas eléctricas y mecánicas

Promedio de horas de trabajadas		147.70	Desviación estándar de horas de trabajadas	15.09
Promedio de horas de paradas	$\mu_2 =$	13.30	Desviación estándar de horas de paradas	15.09
Promedio de fallas eléctricas y mecánicas	$\mu_2 =$	6.57	desviación estándar de fallas eléctricas y mecánicas	3.82

(Fuente: Elaborado por el investigador).

d) Cálculo del estadístico de prueba:

El estadígrafo de Prueba más apropiado para este caso es la Prueba t de Student, con la finalidad de demostrar la hipótesis con más rigurosidad para la prueba con los datos obtenidos.

$(H_0: \mu_2 = \mu_1)$ Las medias no cambian (son iguales)

$(H_1: \mu_2 < \mu_1)$ La media calculada es menor a la media sin sistema; para este caso se considera la prueba de t de student de una cola, en este caso cola a ala izquierda.

De los valores obtenidos $\mu_1=26.41$ que es promedio de horas no productivas por identificación y ubicación de fallas, sin la arquitectura de control implementado

y $\mu_2=13.30$ siendo el promedio de horas no productivas por identificación y ubicación de fallas, con la arquitectura de control implementado.

Para la prueba de hipótesis se empleó la T de student, en donde los grados de libertad $gl=26$ y con una confianza del 95% o nivel de significancia del 5%, de las tablas

$$T_c = -1.70561792$$

Calculemos ahora la prueba de hipótesis con la "t" de Student.

$$t = \frac{u_2 - u_1}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{13.30 - 26.41}{15.09/\sqrt{14}} = -3.2527736$$

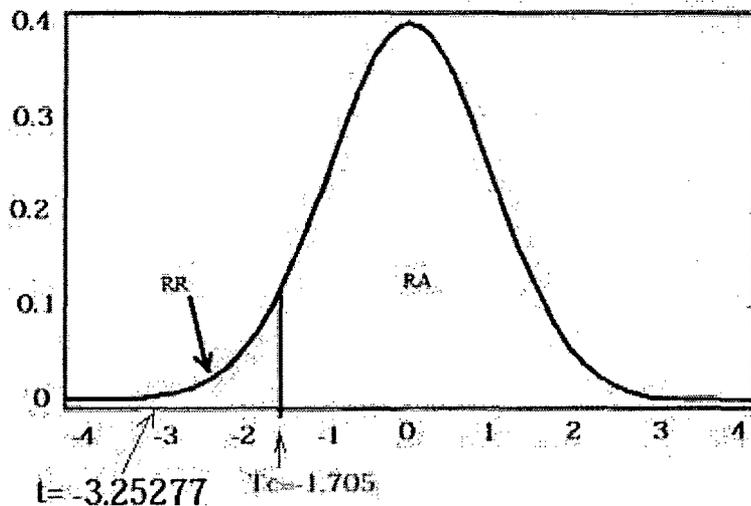


Figura 4.22. Ubicación de t, ubicada en RR (Fuente: Elaborado por el investigador).

d) Decisión Estadística:

Puesto que t calculada es menor que la t_c teórica; es decir en el segundo caso ($-3.25277 \leq -1.705$), en consecuencia se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1).

e) Conclusión Estadística:

Se ha demostrado con un nivel de significancia del 5% y la prueba t de Student que la implementación de la arquitectura de control basado en redes industriales, mejora la identificación menor a 26.41 horas de parada, por las fallas o averías de los instrumentos en la planta chancado de la mina MARSÁ.

CONCLUSIONES

1. Se ha diseñado e implementado una arquitectura de control basado en la red industrial redundante, para el área de chancado de mineral de la unidad Retama de la mina MARSA.
2. Se ha demostrado con un nivel de significancia del 5% y la prueba T de Student que con la implementación de la arquitectura de control basado en la red industrial redundante, se tiene un incremento de la producción de chancado de mineral de 3,193.21429 toneladas que representa el 8.1460 %.
3. Se ha demostrado con un nivel de significancia del 5% y la prueba T de Student que con la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, se recupera 13.8286 horas de producción semanal, que representa el 8.59 % al identificar y ubicar las fallas en tiempo real.
4. La arquitectura de control basado en redes industriales mejora la ubicación e identificación de las fallas en 100% en tiempo real, ya que el sistema lo muestra en la pantalla la ubicación y el tipo de falla automáticamente.

RECOMENDACIONES

1. En el diseño e implementación de la arquitectura de control basado en la red industrial redundante, se debe tener en cuenta el uso adecuado de los equipos del tipo DeviceNet.
2. Con implementación de la arquitectura de control basado en la red industrial redundante, se incrementa la producción de mineral chancado, debido a la recuperación de horas muertas por fallos por lo que se deberá realizar el mantenimiento estricto de los equipos de chancado para alargar la vida útil de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Chillcoe Aquino Víctor Manuel, Rojas Amaro Roger Hernán. "Implementación del Sistema Experto en Molinos para Optimizar la Molienda del Circuito de Cobre en la Planta Concentradora de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A." Universidad Nacional del Centro del Perú, 2012.
- [2]. Clarte Silva Leidy, Rodríguez Delgado Alfonso. "Diseño e implementación del sistema SCADA Factory Talk View de Allen Bradley a una máquina prototipo de embalaje en el laboratorio de automatización de procesos de la Universidad Pontificia Bolivariana". Colombia, 2011.
- [3]. Gonzalo Andrés Pérez Espinoza, Nelson Edgardo Sandoval Nova. "Estudio de reemplazo del sistema de E/S del PLC línea final 3 celulosa Arauco y Constitución S.A., planta Arauco". Universidad del Bio-Bio Facultad de Ingeniería Chile, 2008.
- [4]. Manuel Alejandro Ospina Alarcón. "Diseño de un sistema de control multivariable para un circuito de molienda en húmedo". Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- [5]. William Mesías Morocho Romero, José Luis Montalvo García. "Diseño e implementación de un sistema SCADA para control del proceso de un módulo didáctico de montajes Festo utilizando PLC y una pantalla HMI, caso práctico: en el laboratorio de automatización de la FIE". Escuela superior politécnica de Chimborazo Riobamba Ecuador, 2011.
- [6]. Francisco Toro G., Norman Rojas C. Automatización de Planta de Chancado a través de Sistema Experto [Trabajo de investigación], Universidad de Atacama, Chile, 2005 : www.industriaynegocios.cl/.../trabajos/vesperino%202005/Control%20E.
- [7]. Descripción general de un PLC URL: <http://www.ab.com/es/epub/catalogs/Introduccion.html>.
- [8]. Historia de los PLCs: URL [www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/ApuntePLC.pdf]
- [9]. Programación de PLC: URL [<http://www.ab.com/es/epub/catalogs/M-dulos-Guard-I-O.html>]
- [10]. Fuente de alimentación: URL [<http://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/ControlLogix-Power-Supplies>]

- [11]. Programación ControlLogix: URL [<http://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers/ControlLogix>].
- [12]. Comunicación lógicas de un PLC: URL <http://www.ab.com/es/epub/catalogs/Diagrama-de-flujo-de-selección-de-Lógica-de-seguridad.html>.
- [13]. PLC Allen Bradley: URL [www.ab.com/es/epub/catalogs/].
- [14]. Comunicación DeviceNet: URL [<http://ab.rockwellautomation.com/es/networks-and-communications/devicenet-network>].
- [15]. Nodos de comunicación: URL [<http://notasdeautomatizacion.blogspot.com/2012/03/unas-notas-sobre-redes-devicenet.html>].
- [16]. Topología de la red: URL [<http://elj0na.files.wordpress.com/2011/10/curso-redes-control-device-net.pdf>].
- [17]. Comunicación de ControlNet: URL [<http://ab.rockwellautomation.com/networks-and-communications/controlnet-network>].
- [18]. Módulo de redundancia ControlLogix: URL [<http://ab.rockwellautomation.com/networks-and-communications/controlnet-network>].
- [19]. Red de E/S remotas (RIO) universales: URL [<http://ab.rockwellautomation.com/networks-and-communications/universal-remote-io-network>].
- [20]. FLEX Ex I/O: URL [<http://ab.rockwellautomation.com/io/1794-flex-io>].
- [21]. Chancadora secundaria de cono: URL [https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/escolares_chancado_y_molienda.asp].
- [22]. Arrancadores en estado sólido y relé electrónico: URL [<http://www.softstarter.org>].
Visitado el 13 de noviembre de 2013.
- [23]. Control y Supervisión: URL [http://www.rocatek.com/sistema_supervision.php].
- [24]. Plataforma de Supervisión y Control: URL [http://www.rocatek.com/sistema_supervision.php].
- [25]. Programación de un PLC e In Touch de WonderWare: URL [<http://plc-hmi-scadas.com/SCADA-INTOUCH/>].

ARTÍCULO CIENTÍFICO

MEJORA DE ARQUITECTURA DE CONTROL ZONA CHANCADO DE LA MINERA
MARSA AURIFERA UNIDAD RETAMA
IMPROVEMENT AREA CRUSHING CONTROL ARCHITECTURE OF MINING MARSA
GOLD UNIT RETAMA"

Leonel Belito Huaira, Jhony Angel Chamorro Villanueva

Universidad Nacional de Huancavelica Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas,
Escuela Académico Profesional de Electrónica

RESUMEN

El estudio realizado corresponde a una investigación de carácter cuantitativo teniendo como problema que originó la investigación: ¿Cuál es la influencia de la implementación de arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, en la mejora de la producción de chancado de mineral, y la recuperación de tiempo con la identificación y ubicación de fallas en tiempo real en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSA?, para solucionar el problema se planteó el siguiente objetivo: Determinar la influencia de la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, en la mejora de producción de chancado de mineral, y la recuperación de tiempo con la identificación y ubicación de fallas en tiempo real en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSA. La hipótesis planteada como solución al problema fue: La implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, mejora la producción de chancado de mineral y permite recuperar el tiempo con la ubicación e identificación de fallas en tiempo real, en la unidad Retama de la mina MARSA. El tipo de investigación a la que pertenece esta investigación es aplicada [3], con un nivel explicativo y el diseño de investigación es experimental de dos grupos, el método de investigación utilizado fue el experimental. Para la medición de la producción e identificación de fallas en tiempo real se tomaron datos históricos de catorce semanas para el grupo de control y grupo experimental, para la prueba de hipótesis se ha considerado el uso de la estadística inferencial de la T de Student de los datos obtenidos con la finalidad de tener mayor rigurosidad en la prueba de la hipótesis. Se ha demostrado con un nivel de significancia del 5%, que con la implementación de la arquitectura de control basado en la red industrial redundante, se tiene un incremento de la producción de chancado de mineral de 3,193.21429 toneladas que representa el 8.1460 %, también se ha demostrado que con la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, se recupera 13.8286 horas de producción semanal, que representa el 8.59 %, al identificar y ubicar las fallas en tiempo real.

Palabras claves: Arquitectura de control basado en red industrial redundante, identificación de fallas, incremento de producción de chancado de mineral.

ABSTRACT

The study corresponds to a quantitative research as having originated the research problem: What is the influence of the implementation of control architecture based on redundant industrial network, improving the production of ore crushing and recovery time with the identification and location of faults in real time in the area of crushing unit Retama Mine Marsa, to solve the problem arose next target: to determine the influence of the

implementation of the control architecture based on redundant industrial network, improving production ore crushing and recovery time with the identification and location of faults in real time in the area of crushing unit Retama Mine Marsa. The hypothesis proposed as a solution to the problem was: The implementation of the control architecture based on redundant industrial network, enhances the production of ore crushing and time to retrieve the location and identification of faults in real time, the unit Retama of Marsa mine. The type of research of which this research is applied, with an explanatory level and experimental research design is of two groups, the research method used was experimental. To measure the production and identification of faults in real-time historical data took fourteen weeks for the control group and experimental group, for hypothesis testing is considered using inferential statistics of the Student T data in order to have more rigorous test of the hypothesis. It has been demonstrated with significance level of 5%, that with the implementation of the control architecture based on the redundant industrial network, there is an increase in the production of crushed ore 3193.21429 tons representing 8.1460%, also has shown that the implementation of the control architecture based on the redundant industrial network, 13.8286 hours recovers weekly production, which represents 8.59%, to identify and locate faults in real time.

Keywords: Control architecture based on redundant industrial network, fault identification, increased production of crushed ore.

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de la investigación, en su etapa de formulación del problema y la demostración de la hipótesis, se ha llegado a demostrar que con la implementación de la nueva arquitectura de control basado en redes industriales y arrancadores electrónicos, basado en controladores lógicos programables de la marca Allen Bradley CPU serie L6-L7, y la implementación del programa RSLogix 5000, los PLC nos permite mejorar la producción del chancado del mineral en 8.1460 %, así mismo se demostró que la identificación de fallas, programación en línea, corrección de fallas en tiempo real, permite la recuperación de tiempo muerto con respecto al sistema sin la arquitectura de control para la Planta Chancado de Empresa Minera MARSa en la unidad Retama, Ubicada en el departamento de Trujillo.

MATERIAL Y MÉTODOS

En el desarrollo del trabajo se ha utilizado diversos materiales entre los más resaltantes tenemos: las tablas de toma de datos, autómatas PLC de la serie L7, software RSLogix 5000, computadora portátil de buenas prestaciones para soportar el desarrollo e implementación de la interface HMI con el Operador. Se empleó el método experimental para adquirir los datos que corresponden a la producción de mineral chancado y la detección de fallas.

RESULTADOS

Como resultado se obtuvo un sistema SCADA robusto desarrollado con RSLogix 5000 en que tiene como unidad fundamental a controladores lógicos programables de la marca Allen Bradley CPU de la serie L6-L7 que transfiere los datos a través del bus de campo basado en redes industriales desde y hacia el sistema de control. Ver figura 1 y figura 2.

Como resultado de la buena operación del sistema de control se tiene el incremento en la producción de mineral chancado (ver figura 3) y la disminución de horas muertas siendo estas recuperadas tal como se indica en la figura 4.

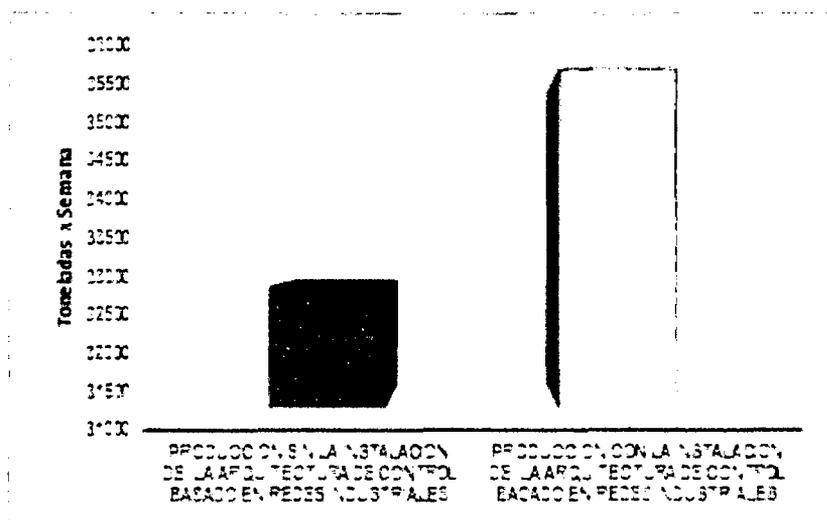


Figura 3. Aumento de producción de chancado de mineral con el sistema de control instalado (Fuente: Elaborado por el investigador).

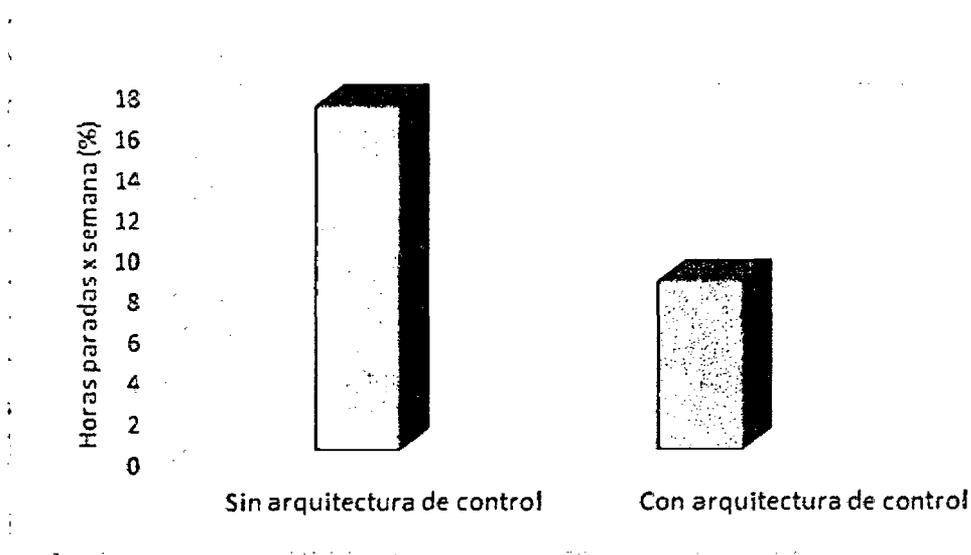


Figura 4. Porcentaje de horas de producción paradas por semana sin la arquitectura de control implementado y con la arquitectura de control implementado (Fuente: Elaborado por el investigador).

CONCLUSIÓN:

- Se ha diseñado e implementado una arquitectura de control basado en la red industrial redundante, para el área de chancado de mineral de la unidad Retama de la mina MARSÁ.
- Se ha comprobado que la nueva arquitectura de control basado en redes industriales mejora la producción de chancado de mineral mayor al 8% en la unidad Retama de la Mina MARSÁ, lográndose una producción de 35 962.86 toneladas por semana, haciendo un aumento en la producción del 9.74%
- Se ha comprobado que la nueva arquitectura de control basado en redes industriales, mejora la reducción de horas de parada significativamente, por las fallas o averías de los instrumentos en la planta chancado de la mina MARSÁ; reduciendo este tiempo de horas muertas de parada en un 50.34%.
- La arquitectura de control basado en redes industriales mejora la ubicación e identificación de las fallas en 100% en tiempo real, ya que el sistema lo muestra en la pantalla la ubicación y el tipo de falla automáticamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Donald C. Fink, Donald Christiansen. Electronics Engineers Handbook. 3ra Edition. 2011.
- [2]. Antonio Creus Solé. Control de Procesos Industriales. 8va edición. Edit. Marcombo 2013.
- [3]. Sergio Szklanny y Carlos Behrends. Sistemas Digitales de Control de Proceso. Edit. Trillas, 2011
- [4]. Caballero Alejandro. Metodología de la Investigación Científica, Editorial Udegraf S.A Lima, 2000.
- [5]. Michael Gadecki, Automation of Auxiliary Electrical Water Heaters in Solar Thermal Water Heaters, [Tesis para optar el grado de maestro en ingeniería electrónica], Universidad de Western, Australia, 2010
- [6]. Katsihiko Ogata, Sistema de control en tiempo discreto, segunda edición, Prentice Hall, México, 1996.
- [7]. José M. Angulo Usategui. Microcontroladores PIC. 2da Edición Mc Graw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. 2001
- [8]. Viejo Hernando Diego. Sistemas expertos. 2003
- [9]. Samper Márquez Juan José - Introducción a los sistemas expertos. 2004
- [10]. Félix Justo. Aplicaciones, ventajas y limitaciones de los sistemas expertos. 2004.
- [11]. Programación de sistemas SCADA. <http://www.wonderware.es/contents/WonderwareInTouchHMI.asp>. Visitado el 15 de noviembre de 2013.
- [12]. Programación de PL Allen Bradley. <http://ab.rockwellautomation.com/>. Visitado el 15 de noviembre de 2013.
- [13]. http://www.efunda.com/designstandards/sensors/strain_gages/strain_gage_theory.cfm <http://webphysics.ph.msstate.edu/jc/library/18-7/index.html> Electronic. Visitado el 15 de noviembre de 2013.

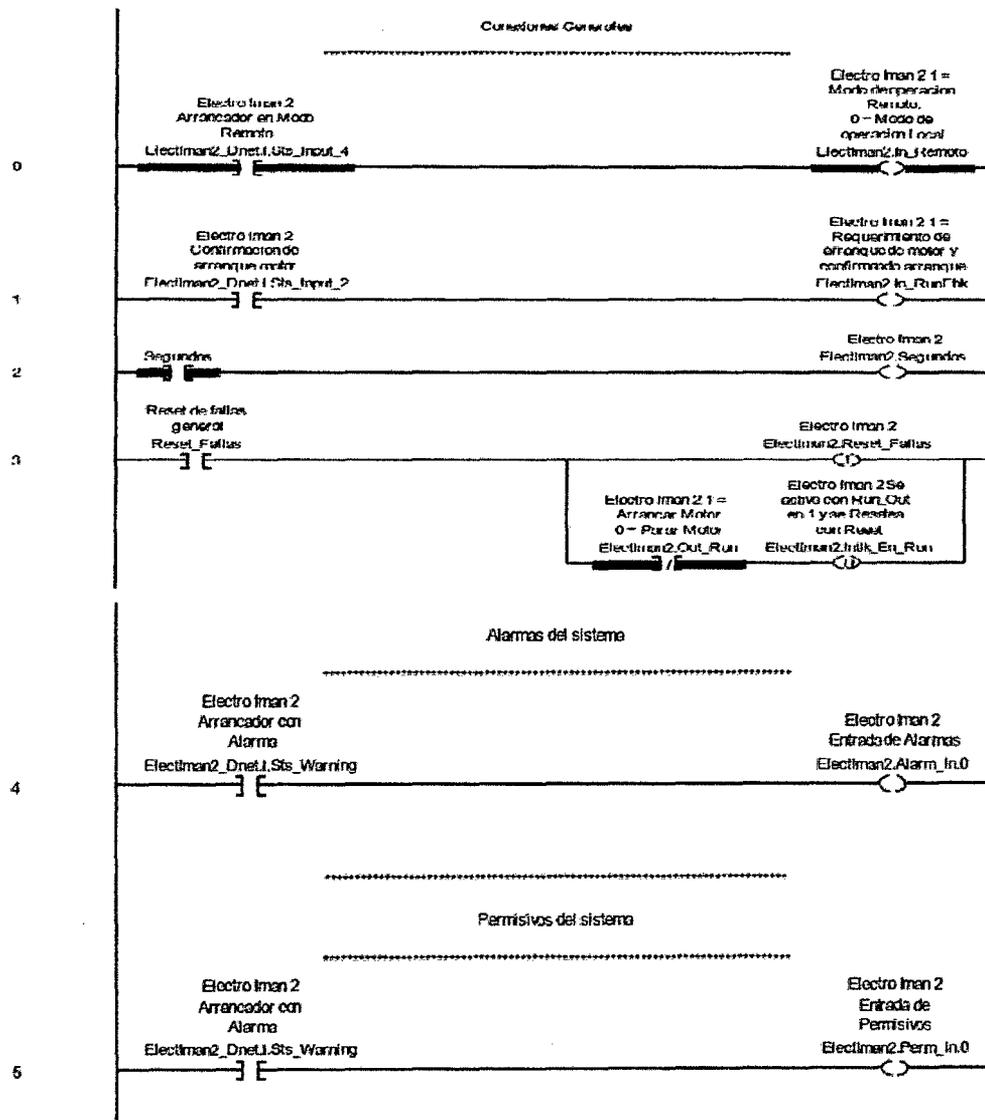
ANEXOS

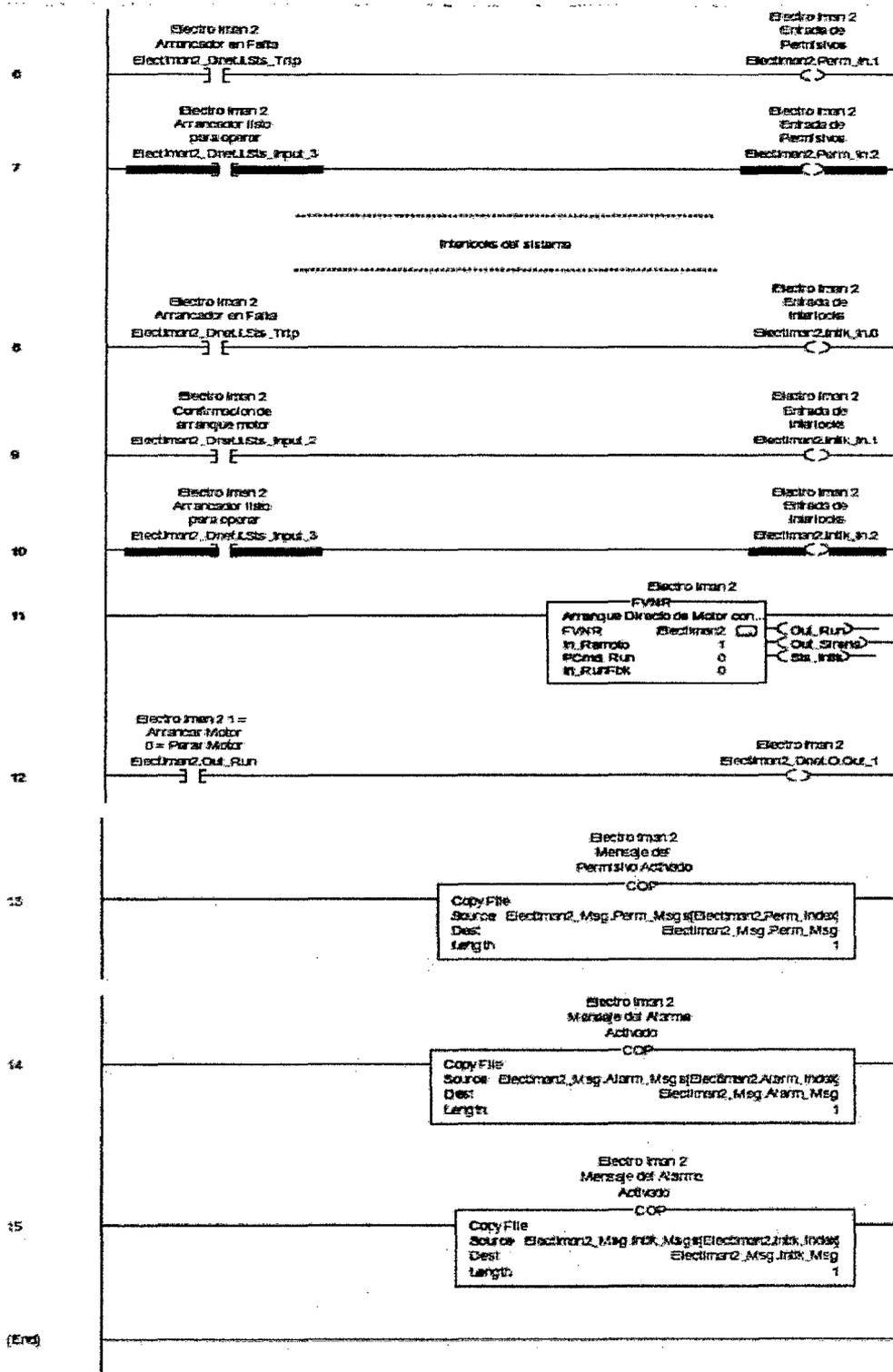
ANEXOS

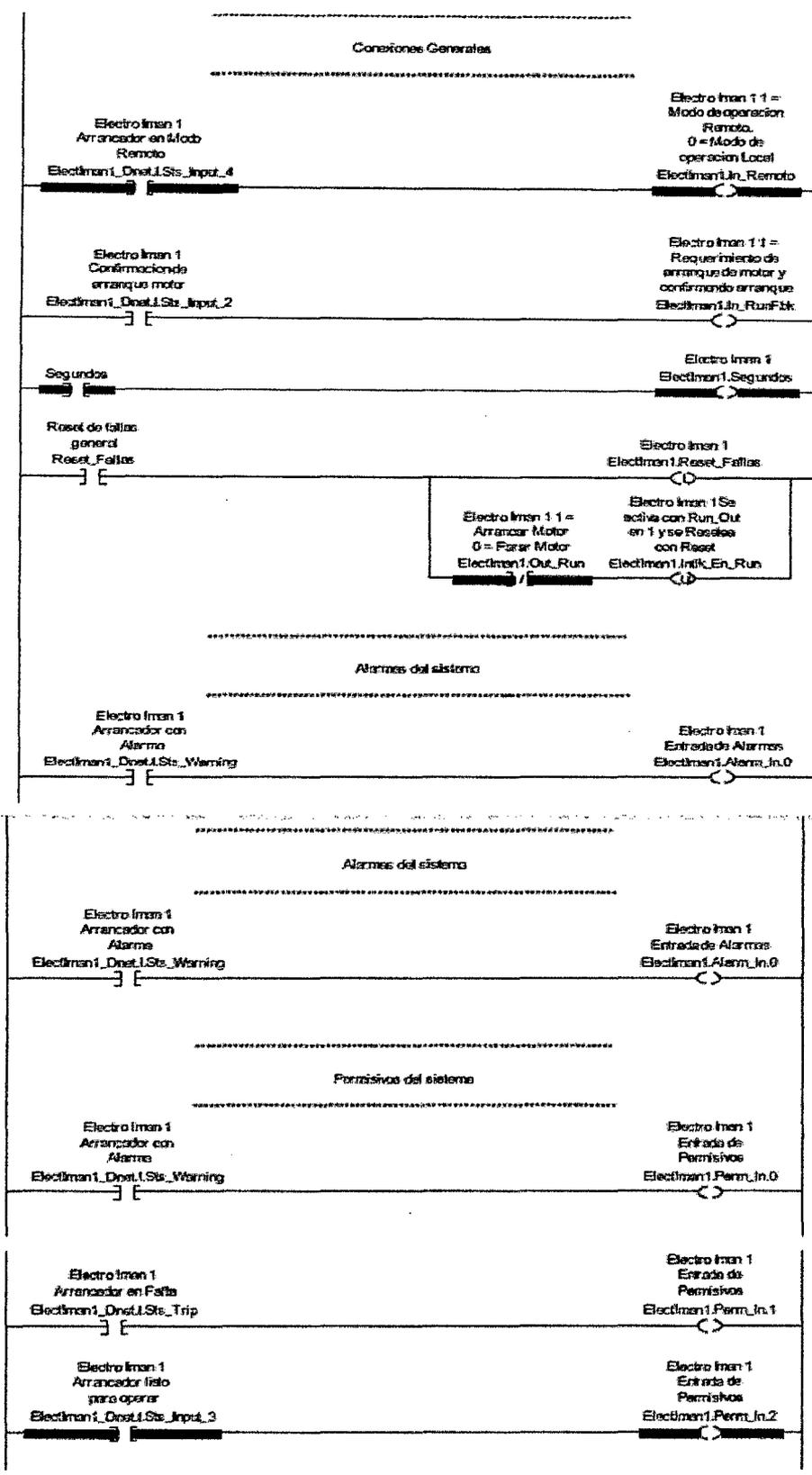
MATRIZ DE CONSISTENCIA

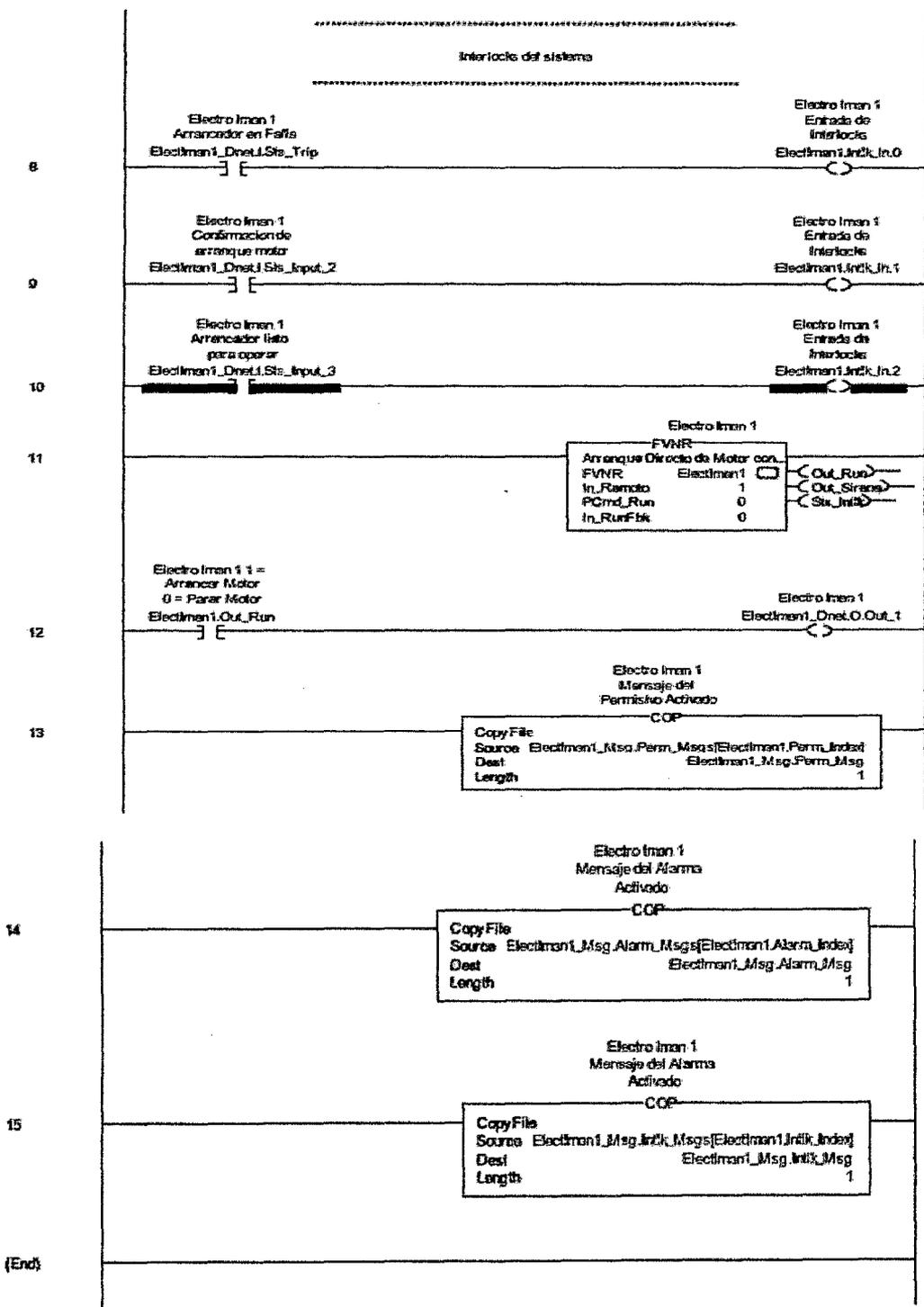
TITULO	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DISEÑO DE INVESTIGACION
MEJORA DE ARQUITECTURA DE CONTROL ZONA CHANCADO DE LA MINERA MARSA AURIFERA UNIDAD RETAMA	<p>1.2.1 PROBLEMA GENERAL.</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es la influencia de la implementación de arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, en la optimización de la producción de chancado de mineral, y la recuperación de tiempo con la identificación y ubicación de fallas en tiempo real en el área de chancado de la unidad Retama de la mina MARSAS? <p>1.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS.</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿En cuánto mejora la producción de chancado de mineral con la implementación de la arquitectura de control, basado en red industrial redundante, en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSAS? ¿Qué porcentaje de tiempo de producción se recupera al identificar y ubicar las fallas en tiempo real, con la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSAS? 	<p>1.3.1. OBJETIVO GENERAL.</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar la influencia de la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, en la mejora de producción de chancado de mineral, y la recuperación de tiempo con la identificación y ubicación de fallas en tiempo real en el área de chancado de la unidad Retama de la mina MARSAS. <p>1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.</p> <ul style="list-style-type: none"> Cuantificar la mejora de la producción de chancado de mineral con la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, en el área de chancado de la unidad Retama de la mina MARSAS. Determinar el porcentaje de tiempo de producción que se recupera al identificar y ubicar las fallas en tiempo real con la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, en el área de chancado de la unidad Retama de la mina MARSAS. 	<p>2.3.1. HIPOTESIS GENERAL.</p> <p>La implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, mejora la producción de chancado de mineral y permite optimizar el tiempo con la ubicación e identificación de fallas en tiempo real, en la unidad Retama de la Mina MARSAS.</p> <p>2.3.2. HIPOTESIS ESPECIFICA</p> <ul style="list-style-type: none"> Con la implementación de la arquitectura de control basado en la red industrial redundante, se mejora la producción de chancado de mineral en más del 8%, en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSAS. Con la implementación de la arquitectura de control, basado en la red industrial redundante, se mejora significativamente la ubicación e identificación de las fallas en tiempo real en el área de chancado de la unidad Retama de la Mina MARSAS. 	<p>2.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTES.</p> <p>Arquitectura de control basado en redes industriales =ACBRI</p> <p>2.5.2. VARIABLES DEPENDIENTES.</p> <p>Producción de chancado de mineral =PCM</p> <p>Identificación y ubicación de fallas en tiempo real =IUFTR</p> <p>OPERACIONALIZACION:</p> <p>PCM = f(ACBRI) IUFTR = f(ACBRI)</p>	EXPERIMENTAL

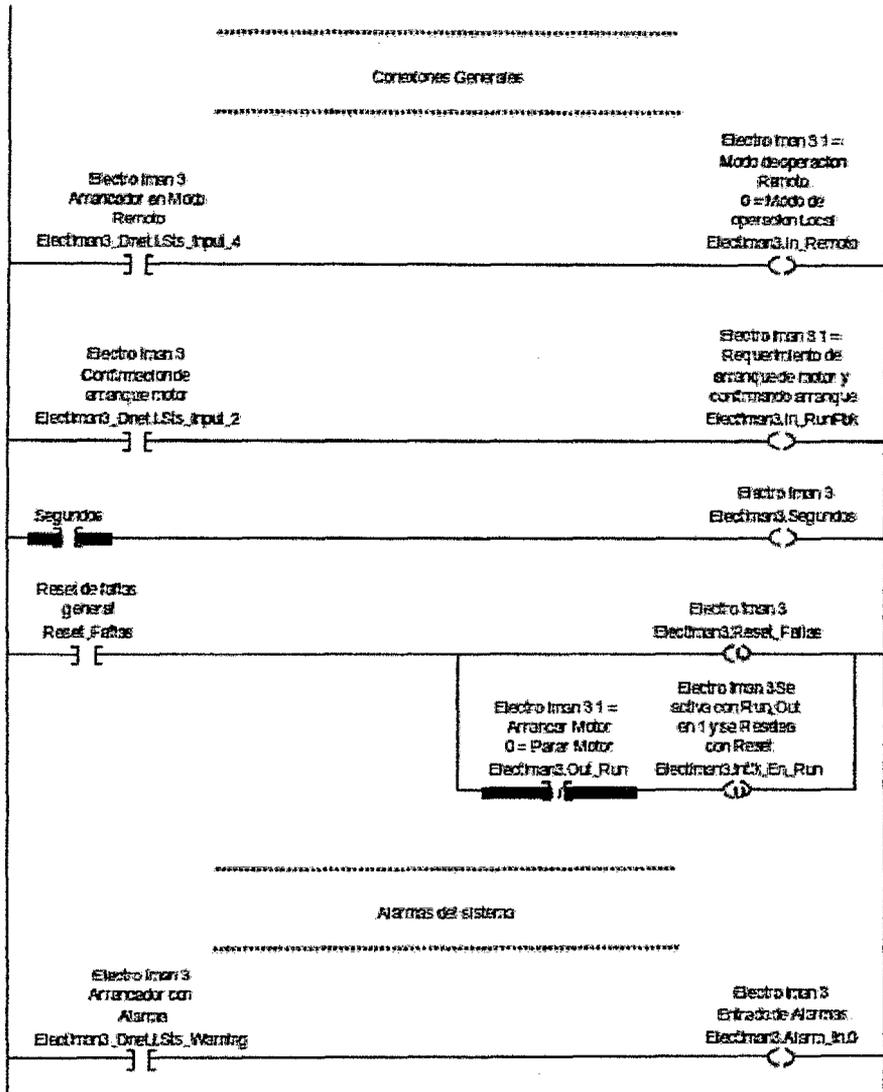
ANEXO 1: Programa de la *arquitectura de control basado en redes Industriales.*

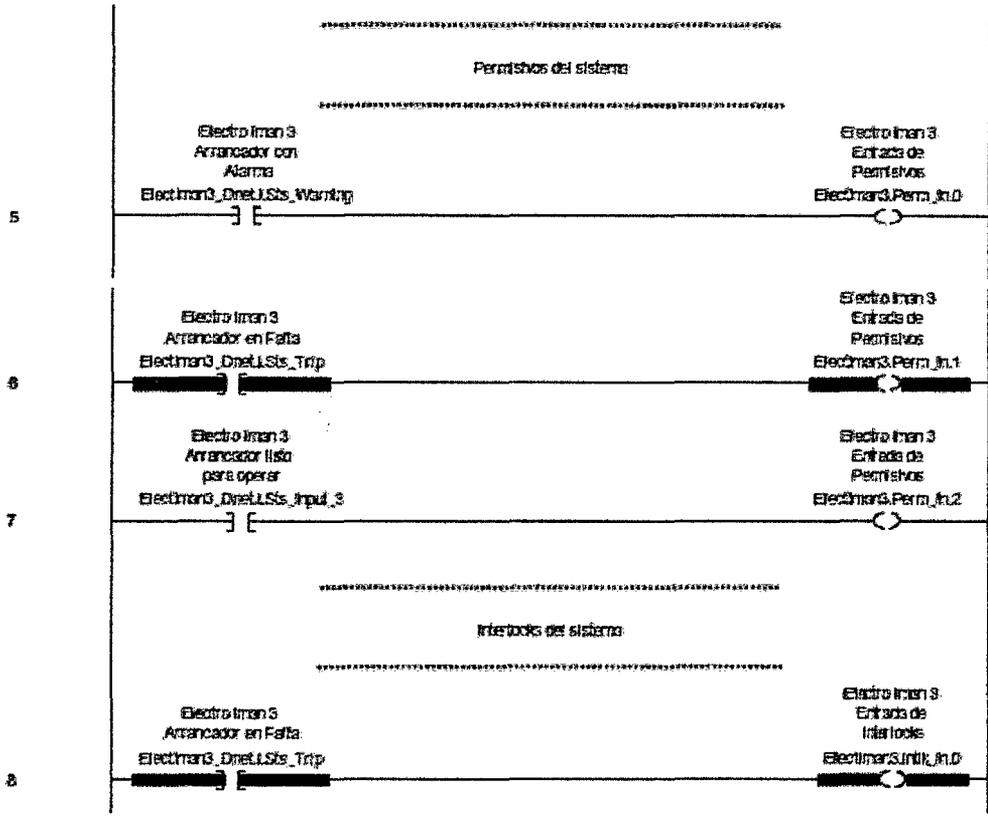


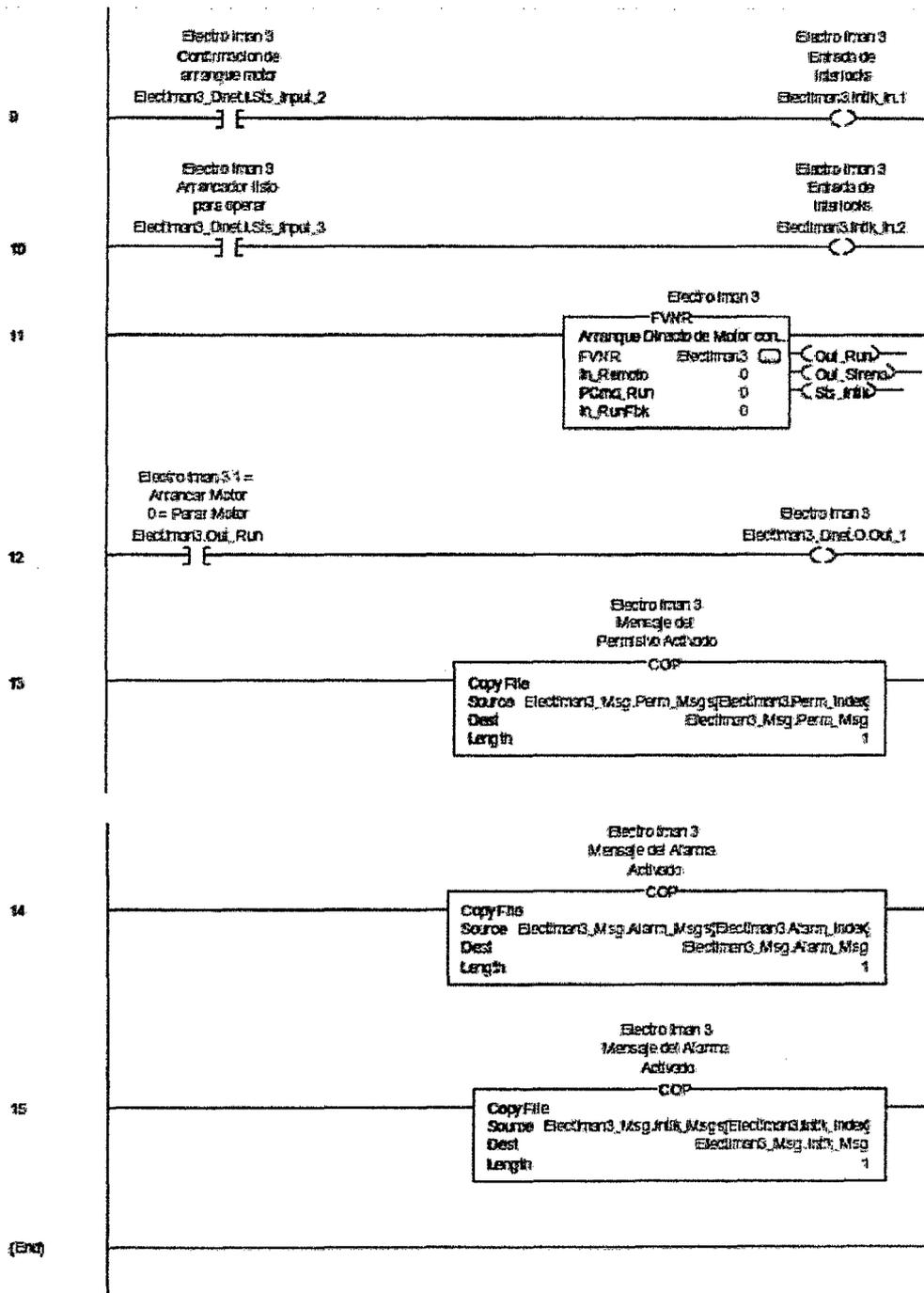


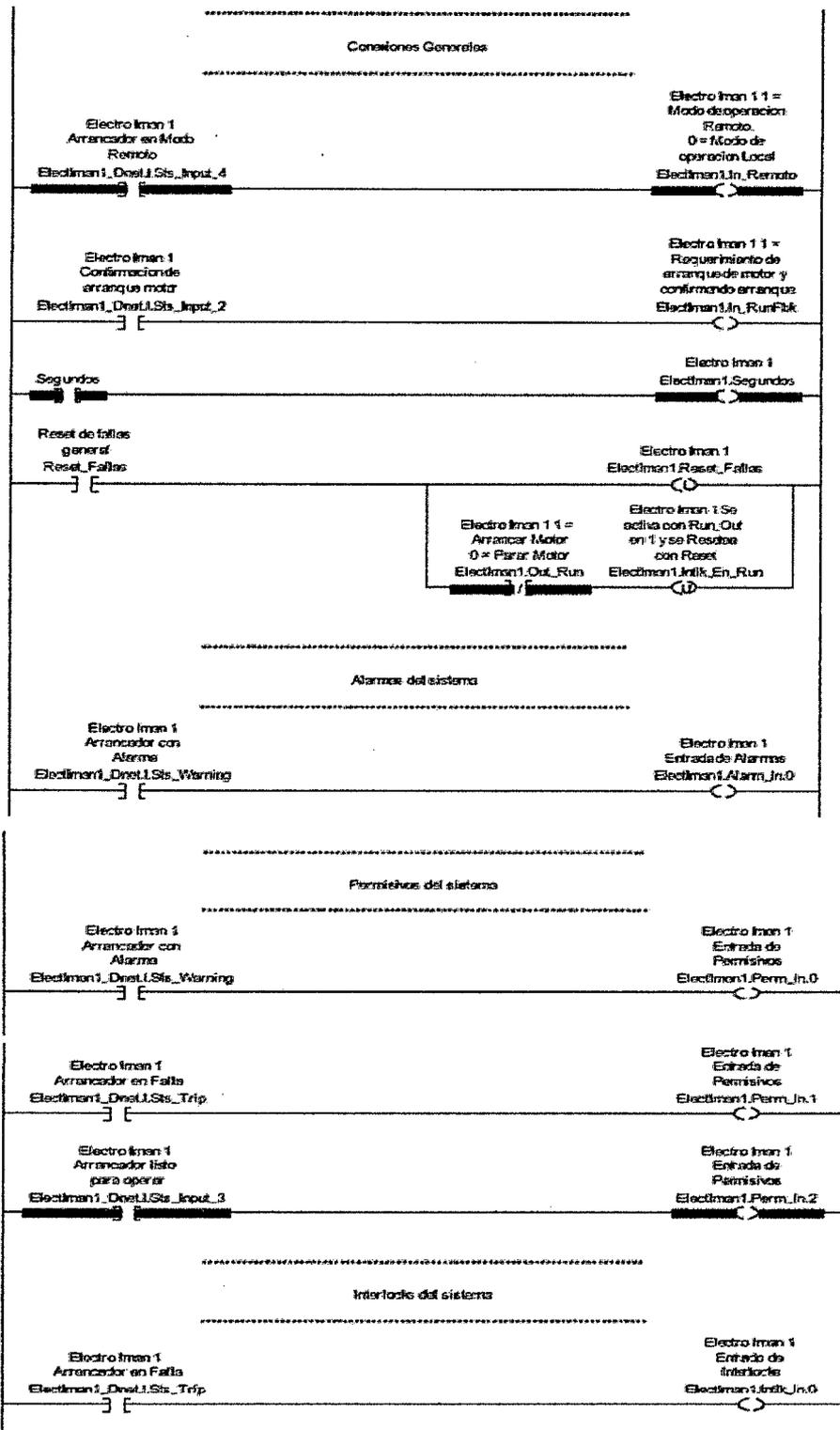


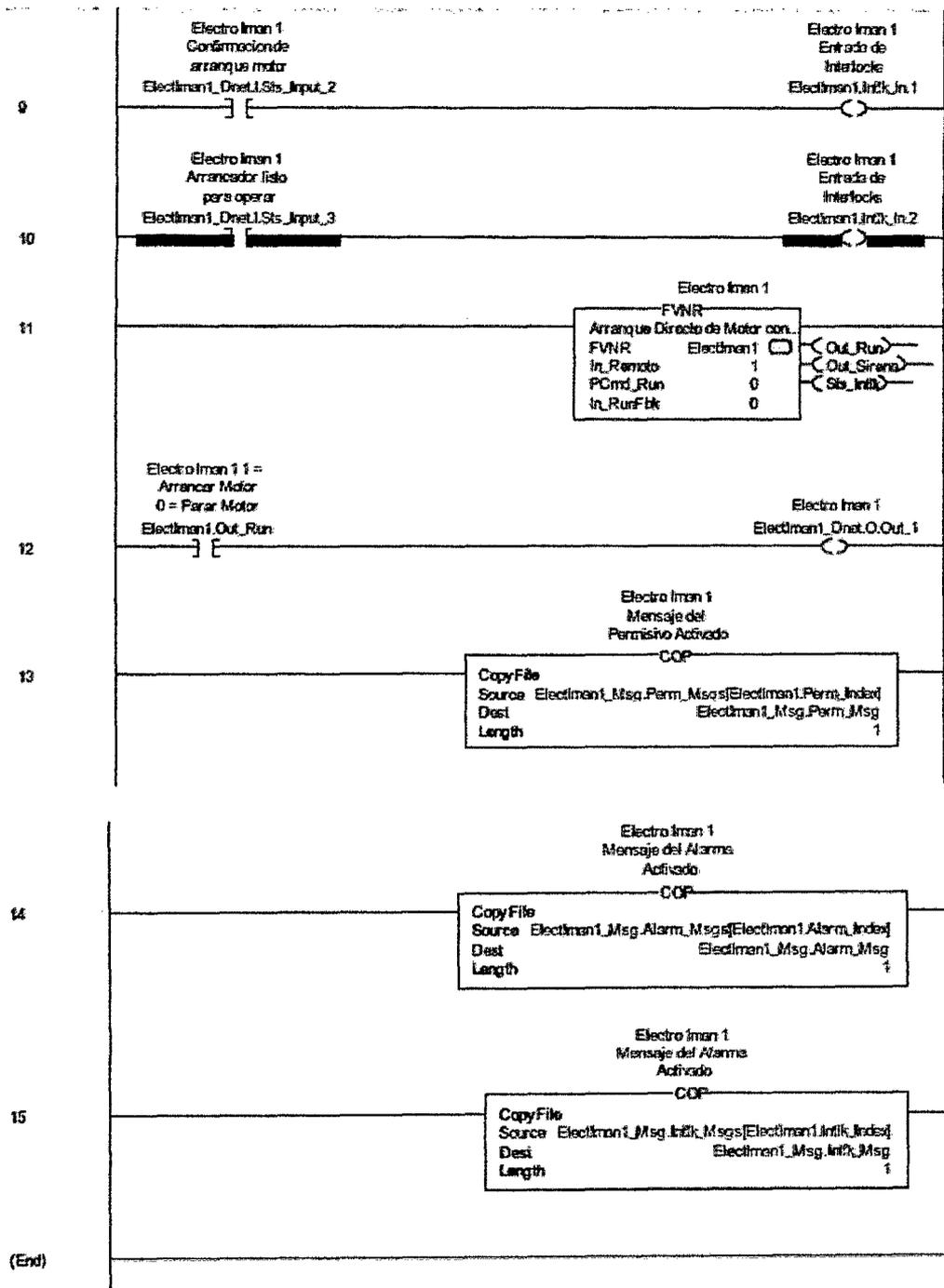












ANEXO 2: Planos de P&ID de planta de chancado MARSA