



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Sistema de control automático para reducir
pérdidas de mineral en el proceso de
molienda de la Planta Outstanding
Mining Perú**

para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Luis Alberto Lifoncio Taipe

Huancayo, 2018



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Continental por compartir sus conocimientos y experiencia laboral.

Al jefe de Planta de la empresa Outstanding Mining Perú, Matucana por su asesoría y por permitirme realizar la investigación así como a todas las personas por su apoyo en el desarrollo de esta tesis.

DEDICATORIA

A mis padres y enamorada por su apoyo.

ASESOR DE TESIS

Ing. Jorge Eliseo Lozano Miranda

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ASESOR DE TESIS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	xvi

CAPITULO I

1. Planteamiento del estudio.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.1. Registro de evidencia de pérdidas de mineral (Outstanding Mining).....	2
1.2. Formulación del problema.....	5
1.2.1. Problema general	5
1.2.2. Problema específico	5
1.3. Objetivos.	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivo específico.	6

1.4.	Justificación e importancia.	6
1.5.	Formulación de hipótesis	6
1.5.1.	Hipótesis general	6
1.5.2.	Hipótesis específicas	7
1.6.	Descripción de variables	7
1.6.1.	Definición de la variable independiente: sistema control automático.	7
1.6.2.	Definición de la variable dependiente: reducción pérdidas de mineral. .	7
1.7.	Operacionalización de las variables	8

CAPÍTULO II

2.	Marco teórico.....	9
2.1.	Antecedentes de la investigación	9
2.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	9
2.1.2.	Antecedentes Nacionales.	11
2.2.	La Automatización en los procesos de industria	13
2.2.1.	Ventajas y desventajas de la automatización.	14
2.3.	Los autómatas Programables.....	15
2.3.1.	Arquitectura y configuración	15
2.3.2.	Programación	17
2.3.3.	Interfaz hombre-máquina (HMI).....	18
2.4.	Sistema de control de procesos.	19
2.4.1.	Tipos de lazos de control.....	20
2.4.2.	Lógica de control	21
2.5.	Instrumentación.....	23
2.5.1.	La instrumentación industrial.	23
2.5.2.	Sistema de instrumentación.....	23

2.5.3.	Elementos del proceso de instrumentación.	24
2.5.4.	Códigos y normas de representación de los Instrumentos.	27
2.5.5.	Circuito de molienda.	28
2.6.	Definición de términos básicos.....	32

CAPITULO III

3.	METODOLOGÍA.....	35
3.1.	Método, tipo y nivel de la investigación.	35
3.1.1.	Método de la investigación.	35
3.1.2.	Tipo de investigación.	36
3.1.3.	Nivel de investigación.	36
3.2.	Diseño de la investigación.....	37
3.3.	Población y muestra de la investigación	37
3.3.1.	Población.....	37
3.3.2.	Muestra.....	37
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38
3.4.1.	Técnicas utilizadas en la recolección de datos.	38
3.4.2.	Instrumentos.	38
3.4.3.	Recolección de datos.	38
3.5.	Técnicas de tratamiento de datos.	39
3.5.1.	Identificación de problemas.	39
3.5.2.	Identificación de los errores y defectos.....	39
3.5.3.	Uso de técnicas e instrumentos para la recolección de datos.	39
3.5.4.	Propuesta de implementación del sistema de control automático.	39

CAPITULO IV

4. Control del proceso de molienda	40
4.1. Control Manual en el proceso de molienda.	40
4.1.1. Registro de pérdidas de mineral con el control manual.	40
4.1.2. Análisis de la operación de las variables del proceso.....	42
4.2. Identificación de causa y efecto de las pérdidas de mineral.	44
4.3. Circuito de molienda control manual.	44
4.3.1. Estudio del comportamiento dinámico del circuito de molienda.....	45
4.4. Propuesta para evitar pérdidas de mineral en el proceso de molienda.....	46
4.4.1. Filosofía de control de la planta.	46
4.4.2. Operación del Sistema de Molienda.	48
4.4.3. Lazos de Control.....	49

CAPITULO V

5. Simulación del proceso de molienda	53
5.1. Simulación del Sistema de Control Automático.....	53
5.1.1. Simulación del proceso de molienda.	54
5.2. Resultados de simulación de lazos de control.....	60
5.2.1. Control de tonelaje.....	60
5.2.2. Control de flujo.....	68
5.2.3. Control de Presión.	73
5.2.4. Control de Densidad.	78

CAPITULO VI

6. Resultados y discusión	83
6.1. Diagnóstico de la línea de producción.....	83
6.1.1. Análisis de pérdida de mineral con el control manual.....	83
6.2. Prueba de hipótesis General:.....	84
6.2.1. Prueba de hipótesis específica (a).....	87
6.2.2. Prueba de hipótesis específica (b).....	89
6.3. Discusión de resultados.	91

CAPITULO VII

7. Presupuesto	93
7.1. Registro y procura de equipos del proceso de molienda con el sistema automático.....	93
7.2. Listado de Equipos y Accionamientos.....	93
CONCLUSIONES.....	94
RECOMENDACIONES	96
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	98
ANEXOS	100
Matriz de consistencia.....	101
ANEXO	102

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1: Derrame de sólidos a la salida del molino, (control manual)	4
Figura 2: Automatización de procesos industriales	13
Figura 3: Arquitectura del PLC.	17
Figura 4: Programador de PLC.	18
Figura 5: Control de procesos.	19
Figura 6: Lazo de control abierto.....	20
Figura 7: Lazo de control cerrado.....	21
Figura 8: Cableado físico del PLC asociado a contactores, interruptores.	22
Figura 9: Programación del PLC, lenguaje Ladder.....	23
Figura 10: Tipos de sensores.	24
Figura 11: Instrumentación, medición, regulación y control.....	25
Figura 12: Diagrama de flujo de proceso de mineral.....	26
Figura 13: Señales de campo.....	27
Figura 14: Simbología de Instrumentos de campo y de panel.....	28
Figura 15: Molino para trabajo continuo.	30
Figura 16: Partes de Hidrocución.	32
Figura 17: Pérdidas de mineral, control manual.	42
Figura 18: Circuito de control manual.....	45
Figura 19: Circuito de control Automático.....	52
Figura 20: Simulación del proceso de molienda y obtención de variables.	55
Figura 21: Reducción de pérdidas de mineral, sistema de control automático.....	56
Figura 22: Tendencia de pérdidas de mineral control automático.	59
Figura 23: Diagrama de lazo alimentación al molino.	60
Figura 24: Reglas para Modular la Curva de reacción.	61
Figura 25 Modulación de la curva de control de tonelaje.	63
Figura 26: Tendencia de control de tonelaje controlado por un PID.....	66
Figura 27: Tendencia control de velocidad faja alimentadora N° 3.	67
Figura 28: Diagrama de lazo ingreso de agua al molino.	68
Figura 29: Modulación de la curva de control de flujo.	69

Figura 30: Tendencia control de flujo controlado por un PID.....	71
Figura 31: Tendencia control de la válvula de agua.	72
Figura 32: Diagrama de lazo control de presión.	73
Figura 33: Modulaci3n de la curva de control de presi3n.	74
Figura 34: Tendencia control de presi3n controlado por un PID.	76
Figura 35: Tendencia control de velocidad de bombas a cicl3n A y B.....	77
Figura 36: Diagrama de lazo control de densidad.	78
Figura 37: Modulaci3n de la curva de control de densidad.	79
Figura 38: Tendencia de control de densidad controlado por un PID.....	81
Figura 39: Tendencia control de fluj3metro y v3lvula de agua.	82
Figura 40: Perdidas de mineral control manual vs controla autom3tico.	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Recopilación de pérdidas de mineral.....	2
Tabla 2: Operacionalización de las variables	8
Tabla 3: Ventajas y desventajas de la automatización.....	14
Tabla 4: Registro de muestras de pérdidas de mineral.....	40
Tabla 5: Análisis del proceso de molienda.....	43
Tabla 6: Identificación de causa y efecto del control manual.....	44
Tabla 7: Registro de variables requeridas.....	53
Tabla 8: Registro de simulación del proceso.....	57
Tabla 9: Valores obtenidos de control de tonelaje.....	65
Tabla 10: Valores obtenidos control flujo.....	70
Tabla 11: Valores obtenidos de control de presión.....	75
Tabla 12: Valores obtenidos de control de densidad.....	80
Tabla 13: Estadísticas de grupo.....	86
Tabla 14: Estadístico de prueba de muestras independientes.....	86
Tabla 15: Pérdida de mineral control manual.....	88
Tabla 16: Pérdida de mineral sistema control automático.....	88
Tabla 17: Matriz de consistencia.....	101

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Cálculo de la muestra.	37
Ecuación 2: Proceso de un controlador.....	61
Ecuación 3: Cálculo de un controlador.....	62
Ecuación 4: Constante integral.....	62
Ecuación 5: Constante derivativa.....	62
Ecuación 6: Cálculo del controlador PID.	63
Ecuación 7: Media de muestras tomadas.....	83

RESUMEN

Varias empresas mineras buscan mejorar el proceso de minerales en sus plantas concentradoras pero siempre existen dificultades que impiden su mejora, Outstanding Mining Perú es una de ellas que se ha identificado en mejorar el proceso de molienda sin embargo cuenta con ciertas dificultades por ello la presente investigación tuvo como objetivo: determinar la influencia del sistema de control automático para la reducción de pérdidas de mineral en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú. El método que se utilizó es cuantitativo porque se analizó la recolección de datos de 27 días para identificar la cantidad de pérdidas de mineral. También se empleó el método analítico porque se realizó la comparación de las pérdidas de mineral entre dos grupos. El control manual y el sistema de control automático. Fundamentando la comprobación de las hipótesis propuestas con el software SPSS. El tipo de investigación es de tipo aplicada porque se evaluó el control manual, sus causas y efectos que produjeron las pérdidas de mineral. Se empleó el nivel de investigación experimental porque se realizó simulaciones (software HSC Chemistry 6.0) de proceso y control PID, para saber cómo disminuye las pérdidas de mineral con el sistema de control automático. Las técnicas que se utilizaron son por observación directa de las pérdidas de mineral, para la medición de la cantidad de pérdidas de mineral, se utilizó el instrumento balanza Mercy y una ficha de recolección de datos, los resultados se presentaron en tablas de frecuencia y para el procesamiento de datos se utilizó el programa de Excel.

Para el análisis estadístico de los grupos de control manual y sistema de control automático realizó la prueba de T de student.

Como resultado del análisis existen diferencias significativas entre los grupos de comparación, por lo que concluye que el sistema de control automático influye significativamente en la reducción de pérdidas de mineral. ($p < 0.05$).

Pérdidas de mineral, control manual = 625320 Kg/m³

Pérdidas de mineral, sistema de control automático = 868.7 Kg/m³

Palabras clave: Sistema, Control, Automático.

ABSTRACT

Several mining companies seek to improve the mineral process in their concentrator plants but there are always difficulties that prevent their improvement, Outstanding Mining Peru is one of them that has been identified in improving the grinding process, however, it has certain difficulties. The objective was to determine the influence of the automatic control system for the reduction of mineral losses in the milling process of the Outstanding Mining Peru plant. The method that was used is quantitative because the 27 day data collection was analyzed to identify the amount of mineral losses. The analytical method was also used because the comparison of mineral losses between two groups was made. The manual control and the automatic control system. Basing the verification of the hypotheses proposed with the SPSS software. The type of research is of the applicative type because the manual control, its causes and effects that produced the mineral losses were evaluated. The level of experimental research was used because simulations were performed (software HSC Chemistry 6.0) of process and PID control, to know how it reduces mineral losses with the automatic control system. The techniques that were used are by direct observation of mineral losses, for the measurement of the amount of mineral losses, the Mercy balance instrument and a data collection card were used, the results were presented in frequency tables and for the data processing was used Excel program.

For the statistical analysis of the manual control groups and automatic control system, he performed the student's T test.

As a result of the analysis, there are significant differences between the comparison groups, so it concludes that the automatic control system significantly influences the reduction of mineral losses. ($p < 0.05$).

Mineral losses, manual control = 625320 Kg / m³

Mineral losses, automatic control system = 868.7 Kg / m³

Keywords: System, Control, Automatic.

INTRODUCCIÓN

La planta de procesos de minerales Outstanding Mining Perú ubicada en Huarochirí perteneciente a la provincia de Matucana distrito de Chacahuaro, es una planta que procesa mineral por medio de la molienda. Al analizar el sistema de control manual en la molienda se observó derrames de mineral en la salida de este circuito, obteniendo pérdidas por esta causa. Para lo cual propongo un sistema de control automático, para reducir las pérdidas de mineral. El presente diseño busca generar el soporte técnico suficiente para la justificación de la investigación, desarrollando los requerimientos y las condiciones para su implementación. La investigación cuenta con siete capítulos.

El capítulo I trata sobre el planteamiento del estudio, nuestro principal problema radica en la deficiencia del control de procesos por el tipo de control manual que se viene operando, a causa de esto se produjo las pérdidas de mineral en el circuito de molienda, para ello se a implementando el sistema de control automático y la manera que influye y determina en la reducción de pérdidas de mineral así como en la optimización del proceso. También se determinó las hipótesis de cada variable y la identificación de la variable dependiente e independiente.

El capítulo II contiene el marco teórico en donde se muestra los antecedentes de la investigación, dos nacionales, dos internacionales y los fundamentos teóricos.

El capítulo III contiene la metodología de la investigación. El método es cuantitativo y analítico. El tipo de investigación es aplicada porque se evaluó el control manual, sus causas y efectos que produjeron las pérdidas de mineral. El nivel de investigación es explicativa por que las pérdidas de mineral

fue producido por la inestabilidad de las variables del proceso (tonelaje, flujo, presión, densidad), causando rebose y derrame a la salida del molino y experimental porque se realizó simulaciones de proceso y control PID, para saber cómo disminuye las pérdidas de mineral con el sistema de control automático. El diseño de la investigación es experimental porque se probó el sistema de control automático por simulaciones. Luego se menciona la población, muestra y las técnicas e instrumentos que se está utilizando.

El capítulo IV menciona el control de proceso de molienda, el control manual y la propuesta del sistema de control automático. El capítulo V muestra los resultados de la investigación, los cuadros de registro de variables de pérdidas de mineral (Kg/m³). También muestra los diagramas, gráficos de los lazos de control realizados, la filosofía de control, las simulaciones del proceso y simulaciones de los lazos de control PID, interpretación de las tendencias, diagramas de bloques.

El capítulo VI muestra los resultados y discusión de las pérdidas de mineral con el control manual. Menciona la prueba de hipótesis general, específica y discusión de resultados.

El capítulo VII menciona la procura de equipos del proceso de molienda con el sistema automático.

CAPITULO I

1. Planteamiento del estudio

1.1. Planteamiento del problema

El problema radica en las pérdidas de mineral. Estas pérdidas son producto del derrame a la entrada y salida del molino. El derrame es ocasionado por la inestabilidad de las variables de tonelaje, flujo, presión, densidad esta variación de las variables del proceso es consecuencia del inadecuado control manual que se maneja en la operación del circuito de molienda.

Teniendo en cuenta que el corazón de toda planta viene a ser este circuito, debido que aquí es donde se consume la mayor cantidad de energía en la reducción de tamaño de las partículas. Por otro lado se sabe que, para mantener el control de procesos en su punto óptimo es importante tener los valores de las variables del proceso estabilizados y constantes, también para la obtención de una información rápida de estos valores fue de suma importancia contar con las herramientas e instrumentos y equipos adecuados que fuerón de bastante utilidad.

Evidencias del proceso de molienda

1.1.1. Registro de evidencia de pérdidas de mineral (Outstanding Mining Perú).

Tabla 1: Recopilación de pérdidas de mineral.

Itens	Mes	Presión En La Línea A Ciclones (Psi)	Ingreso A Molino Flújo (M3/H)	Salida De Molino Flújo (M3/H)	Ingreso A Molino Densidad (Kg/m3)	Salida De Molino Densidad (Kg/m3)	Ingreso De Solidos %	Salida De Solidos %	Pérdidas De Mineral a la salida Kg/m3 / %
1	15/06/2015	7.32	288.7	419.9	1584.8	1338.8	79.24	65.44	141.2 / 9.7
2	16/06/2015	7.3	280.3	411.5	1576.4	1310.4	78.82	65.02	149.6 / 10.3
3	17/06/2015	7.21	260.6	391.8	1556.7	1280.4	77.835	64.035	169.6 / 11.7
4	18/06/2015	7.2	253.2	384.4	1549.3	1223.6	77.465	63.665	176.7 / 12.2
5	19/06/2015	7.19	242.5	373.7	1538.6	1292.2	76.93	63.13	187.4 / 12.9
6	20/06/2015	7.3	273.6	404.8	1569.7	1213.3	78.485	64.685	156.3 / 10.8
7	21/06/2015	7.22	260.1	391.3	1556.2	1380.1	77.81	64.01	169.8 / 11.7
8	22/06/2015	7.19	231.6	362.8	1527.7	1221.9	76.385	62.585	198.3 / 13.7
9	23/06/2015	7.2	242.3	373.5	1538.4	1382.4	76.92	63.12	187.6 / 12.9
10	24/06/2015	7.15	218.9	350.1	1515	1319.5	75.75	61.95	211 / 14.6
11	25/06/2015	8.07	351.7	482.9	1647.8	1421.8	82.39	68.59	78.2 / 5.4
12	26/06/2015	7.01	215.9	347.1	1512	1236.9	75.6	61.8	214 / 14.8
13	27/06/2015	8	316.4	447.6	1612.5	1386.5	80.625	66.825	113.5 / 7.8
14	28/06/2015	7.41	265.3	396.5	1561.4	1215.4	78.07	64.27	164.3 / 11.4

15	29/06/2015	8.05	321.8	453	1617.9	1391.9	80.895	67.095	108.1 / 7.5
16	30/06/2015	7.89	315.1	446.3	1611.2	1365.2	80.56	66.76	114.8 / 7.9
17	01/07/2015	7.74	308.9	440.1	1605	1389.4	80.25	66.45	121 / 8.3
18	02/07/2015	8.03	350.4	481.6	1646.5	1470.1	82.325	68.525	79.5 / 5.5
19	03/07/2015	7.28	228.2	359.4	1524.3	1313.7	76.215	62.415	201.7 / 13.9
20	04/07/2015	7.92	290.1	421.3	1586.2	1380.5	79.31	65.51	139.8 / 9.6
21	05/07/2015	7.15	215.7	346.9	1511.8	1295.2	75.59	61.79	214.2 / 14.8
22	06/07/2015	7.26	247.3	378.5	1543.4	1287.6	77.17	63.37	182.6 / 12.6
23	07/07/2015	7.09	250.6	381.8	1546.7	1320.4	77.335	63.535	179.3 / 12.4
24	08/07/2015	7.31	263.5	394.7	1559.6	1213.2	77.98	64.18	166.4 / 11.5
25	09/07/2015	7.29	255.3	386.5	1551.4	1365.2	77.57	63.77	174.6 / 12.0
26	10/07/2015	7.23	252.9	384.1	1549	1273.9	77.45	63.65	177 / 12.2
27	11/07/2015	7.24	263.1	394.3	1559.2	1233.7	77.96	64.16	166.8 / 11.5
	n°	7.4	269.0	400.2	1565.1	1389.5	78.3	64.5	160.9 / 11.1

Fuente: Propia



Figura 1: Derrame de sólidos a la salida del molino, (control manual)

Fuente: Propia

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera influye el sistema de control automático para la reducción de pérdidas de mineral en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú en la Provincia de Matucana, Distrito de Chacahuaro en el año 2015?

1.2.2. Problema específico

- a. ¿Identificar la cantidad de pérdidas de mineral en el proceso de molienda utilizando el control manual en la planta Outstanding Mining Perú?
- b. ¿Determinar la reducción de las pérdidas de mineral en el proceso de molienda utilizando el sistema de control automático en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú?

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

Determinar la influencia del sistema de control automático para la reducción de pérdidas de mineral en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú en la Provincia de Matucana, Distrito de Chacahuaro en el año 2015.

1.3.2. Objetivo específico.

- a. Identificar la cantidad de pérdidas de mineral en el proceso de molienda utilizando el control manual en la planta Outstanding Mining Perú.
- b. Determinar la reducción de la pérdida de mineral en el proceso de molienda utilizando el sistema de control automático en la planta Outstanding Mining Perú.

1.4. Justificación e importancia.

La presente investigación está orientado a dar una alternativa de solución a una problemática que se viene dando en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú. Viendo la necesidad de reducir las pérdidas de mineral de la planta se elaboró el sistema de control automático. Partiendo del análisis del proceso para luego identificar las causas de las pérdidas de mineral. También se ha implementado equipos modernos de control e instrumentación, de esta forma se logró estabilizar las variables del proceso.

1.5. Formulación de hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Un sistema de control automático influye significativamente en la reducción de pérdidas de mineral en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú en la Provincia de Matucana, Distrito de Chacahuaro en el año 2015.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. La cantidad de pérdidas de mineral en el proceso de molienda utilizando el control manual en la planta Outstanding Mining Perú es 625 320 kg/m³.

- b. Las pérdida de mineral en el proceso de molienda utilizando el sistema de control automático en la planta Outstanding Mining Perú es 868.7 kg/m³.

1.6. Descripción de variables

1.6.1. Definición de la variable independiente: sistema de control automático.

El sistema de control automático reduce las pérdidas de mineral, en el proceso de molienda, manteniendo los valores estables y confiables controlando el proceso de mineral desde la alimentación hasta la descarga del molino, así como también controla la recirculación en los Hidrociclones. Evitando que pueda ocurrir saturación, derrames de mineral y por ende pérdidas de mineral.

1.6.2. Definición de la variable dependiente: reducción de pérdidas de mineral.

Las pérdidas de mineral, con el control manual afectan el rendimiento del proceso de molienda. La variación de las variables del proceso, causan saturación y derrames de mineral en la descarga del molino. Estas pérdidas de mineral evitan el rendimiento del circuito de molienda.

1.7. Operacionalización de las variables

Tabla 2: Operacionalización de las variables

VARIABLES		INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE:	Sistema de control automático	(27) Simulaciones del proceso. Variables estables (Psi, m3/h, Kg/m3). Reducción de pérdidas de mineral Kg/m3
VARIABLE DEPENDIENTE:	Pérdidas de mineral.	Recolección y registro de 27 muestras. Análisis y identificación Cantidad de pérdidas de mineral(Kg/m3),

Fuente: Propia

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales.

Cervantes García, Jairo. (3) En su Tesis “Diseño e implementación del sistema de control automático para la dosificación de mineral de hierro en el molino de crudo en la sección de materias primas de Cemex Colombia S.A”, realizo un estudio de investigación llegando a las siguientes conclusiones, los resultados obtenidos con la realización del proyecto, permiten afirmar que el diseño e implementación del sistema de control es confiable con esto se podrá realizar una mezcla adecuada mediante la dosificación de materiales y así mejorar la calidad e incrementar los volúmenes de producción.

El presente proyecto, ha servido como desarrollo de diferentes materias y conocimientos que han sido aplicados para realizar un sistema de control automático para la dosificación de mineral de hierro en el molino de crudo de una planta de molienda de cemento; pero podrían aplicarse

igualmente, para realizar la implantación de cualquier otro tipo de industria o proceso industrial.

La inversión en la automatización de un proceso, resulta ser costosa por el valor elevado de los sensores y equipos de control; sin embargo al realizar un estudio del aumento de producción y calidad, se podría estimar el tiempo que tardaría la empresa en recuperar el dinero, ya que la forma de operar que sugiere la metodología de automatización, hace que la dosificación de materias primas, logre un control efectivo, sin generar pérdidas en la dosificación de cada uno de ellos.(3)

Cisneros Vela, Liliana. (4) En su Tesis “Metodología para la reducción de pérdidas en la etapa de ejecución de un proyecto de construcción”, se realizó una investigación llegando a las siguientes conclusiones:

La logística es un punto determinante para lograr reducir las pérdidas, es imprescindible dedicar tiempo a esta actividad ya que si se tiene una buena logística y coordinación de materiales, mano de obra y trayectos las pérdidas serán reducidas.

Para evitar errores y reprocesos (considerados pérdida) se debe tener una supervisión durante todo el desarrollo del proceso y no solo al final del mismo, igualmente es necesario el uso de controles visuales para evitar equivocaciones.

Para el correcto funcionamiento de la Metodología de Reducción de Pérdidas es necesario evaluar las condiciones actuales en que labora la empresa, esto con un sentido crítico para poder realizar mejoras sustanciales.

La planeación se realiza antes de la ejecución, sin embargo, generalmente es variable y poco confiable, por tal razón en la metodología se plantea evaluar la planeación y realizar los ajustes necesarios al inicio de la ejecución. Es importante conocer la razón por

la cual no se realizan buenas programaciones y evitar hacer ajustes en el desarrollo de la ejecución.

Una mejor comunicación entre departamentos es favorable para la reducción de pérdidas, si se tiene buena comunicación se evitan errores y por lo tanto pérdida.

Para la reducción de pérdidas es fundamental llegar al origen de causas de problemas para poder tomar las medidas necesarias.

2.1.2. Antecedentes Nacionales.

Balta Perales, Renato y Vásquez Velásquez, Carlos. (1) En su Tesis “Diseño de sistema control automático del proceso de retratamiento del relave en la unidad Minera Orcopampa de la empresa Buenaventura”, el presente estudio de investigación llega a las siguientes conclusiones: al analizar la problemática y con estudio de la automatización se dio paso al diseño del sistema de supervisión y control del proceso de disposición de relaves en la unidad minera de Rosaura de la empresa Perubar. Haciendo un diseño de sistemas de control así como los lazos de control para las diversas variables del proceso, determinación de las entradas y salidas necesarias. Finalizando su instalación e implementación del proyecto en base a lo diseñado

- Se Diseñó un sistema de control que cumple con los requerimientos de la planta.
- Se Diseñó un sistema de control, seguro, amigable y confiable en donde el operador realiza las distintas operaciones de manera fácil.
- Se realizó una adecuada selección de instrumentos, controlador lógico programable (PLC) y un SCADA de acuerdo a los requerimientos del sistema.

- Se establecieron las estrategias de control para los diferentes lazos de control del proceso.
- Se diseñó la filosofía de control del proceso.
- Se diseñó el diagrama P&ID del proceso.

Cuadros Rojas, Alejandro. (2) En su Tesis. "Reducción de las Perdidas de cobre en las escorias del proceso ISASMELT de la fundición de Ilo de spcc", realizó una investigación llegando a las siguientes conclusiones:

Para encontrar los parámetros tales como la relación SiO_2/Fe y SiO_2/CaO que caracterizan a las escorias producidas por el Horno Isasmelt buscando disminuir el contenido de cobre en las mismas debido a que este se considera como pérdida.

Para lograr este propósito se toma como base los fundamentos termodinámicos del equilibrio mata - escoria. Por otro lado se hace uso del análisis estadístico de las muestras de escoria obtenidas durante el período enero a mayo del 2008.

Los resultados demuestran que la viscosidad de la escoria es afectada grandemente por el incremento de SiO_2 o relación SiO_2/Fe y que esta mayor viscosidad trae consigo un mayor contenido de cobre en las escorias.

Se ha concluido que para disminuir el contenido de cobre de las escorias en el Horno Isasmelt se deben controlar las principales causas como son: El contenido de Magnetita en el Horno de Separación debe ser menor a 8,5%, la temperatura de escoria debe estar entre 1 180 a 1 200°C, la relación de SiO_2/Fe menor a 0,82 con un contenido de magnetita en el Horno Isasmelt entre 8-10% y el control de niveles de mata no mayor a 1,20 m para evitar contaminar la escoria por arrastre de mata. Las pérdidas de cobre también pueden verse afectadas debido a la operación con altos inventarios de mata, por lo que es importante conocer las relaciones entre el ángulo de giro máximo durante el retiro

de escoria para evitar contaminar la escoria con mata y debe ser función de los niveles de mata.

2.2. La Automatización en los procesos de industria

Es el proceso de mecanización de las actividades industriales para reducir la mano de obra, materiales y energía.

La automatización de los procesos industriales es la sustitución de tareas tradicionalmente manuales por las mismas realizadas de manera automática por máquinas, robots o cualquier otro tipo de automatismo. La automatización tiene ventajas muy evidentes en los procesos industriales. Se mejora en costes, en servicio y en calidad. El trabajo es más rápido y no necesita de una cantidad determinada de operarios, que antes eran necesarios. Además se producen menos problemas de calidad por realizarse el trabajo de una manera más uniforme debido a las especificaciones dadas al automatismo. Otras ventajas se obtienen de la automatización son el aumento de producción, menor gasto energético, mayor seguridad para los trabajadores, (Iñiguez, 2011). (5)

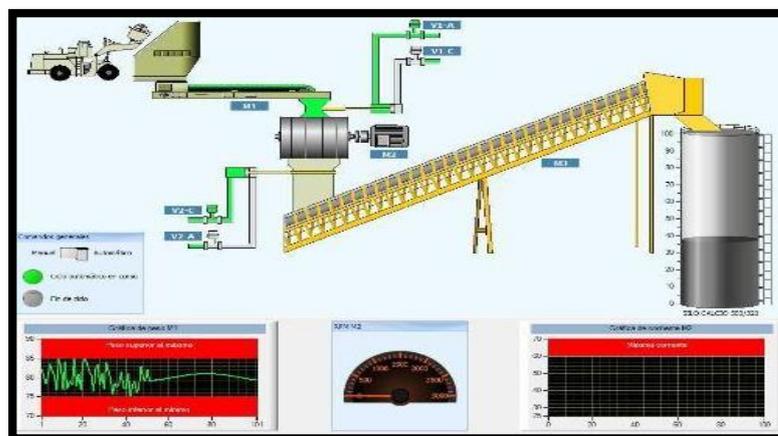


Figura 2: Automatización de procesos industriales

Fuente: Iñiguez, M (2011). Automatización de Procesos.

2.2.1. Ventajas y desventajas de la automatización.

Como se puede ver, la automatización tiene grandes ventajas, pero también tiene sus desventajas. A continuación veremos algunas ventajas y desventajas de la automatización.

Tabla 3: Ventajas y desventajas de la automatización.

Ventajas	Desventajas
Reduce los costos	Genera desempleo
Aumenta la productividad	La inversión es muy alta
Mayor calidad en los productos	El servicio y operación requiere de
Optimización de recursos	personal especializado
Mayor organización	El mantenimiento es caro
Seguridad para el personal	Complejidad del proceso e instalaciones

Fuente: Gonzales D (2004). Automatización de procesos industriales

Estas son las ventajas y desventajas más relevantes de realizar una automatización en un proceso de producción industrial.

Hay que considerar que no todos los procesos son factibles de automatizar, ya que hay ocasiones que sería mejor dejar el proceso como se encuentra a realizar una automatización que no lograría gran cosa, (Gonzales, 2004). (6)

2.3. Los autómatas Programables

2.3.1. Arquitectura y configuración

Un autómata es una máquina industrial susceptible de ser programada (autómata programable industrial API) al estar basada en un sistema de microprocesador dotado de un hardware estándar independiente del proceso a controlar. Se adapta a tal proceso mediante un programa de usuario específico (software), escrito en algún lenguaje de programación y que contiene la secuencia de operaciones a realizar.

El programa, realizado y depurado en una unidad de programación propia o ajena al autómata, se incorpora a la memoria de programa del mismo, para su ejecución por la Unidad Central de Proceso (CPU) del autómata. La secuencia de operaciones del programa se realiza sobre señales de entrada y salida del proceso, llevadas al bus interno del autómata a través de las correspondientes interfaces de entrada y salida (E/S).

El autómata gobierna las señales de salida según el programa de control previamente almacenado en su memoria de programa, a partir del estado de las señales de entrada. Los tipos de interfaces de E/S son muy variados, según las características de las señales procedentes del proceso o las que se van a aplicar al mismo (señales analógicas de tensión o corriente, pulsos de 0/5 V, 0/24 V, tensiones alternas 110 V, 220 V, tensiones continuas 12/24/48 V). En la mayoría de los APIs, el número (hasta la capacidad permitida por la CPU), tipo y ubicación de las interfaces lo define el usuario, adaptando así el autómata, junto con su programa, a las necesidades de su proceso.

Señales de entrada son las procedentes de elementos digitales, contactores, relés de contactos como interruptores, finales de carrera y detectores de proximidad, o analógicos, como tensiones de dinamos tacométricas, tensiones de termopares, etc.

Señales de salida son las órdenes digitales todo o nada o analógicas en tensión o corriente, que se envían a los elementos indicadores y actuadores del proceso, tales como lámparas, contactores, válvulas, etc.

La configuración del autómata, llamada arquitectura interna, como en todo sistema microprocesador, incluye fundamentalmente los siguientes cuatro bloques básicos: una CPU o unidad central de proceso, una memoria interna de trabajo (RAM), una memoria de programa (RAM, EPROM, EEPROM), y las interfaces de entradas y salidas conectadas al bus interno. A su vez, tanto la CPU como la memoria de programa están conectadas a dicho bus interno. Las instrucciones de un programa de usuario almacenado en la memoria de un API son ejecutadas correlativamente generando unas órdenes o señales de control a partir de las señales de entrada leídas de la planta. Cuando se detectan cambios en las señales, el autómata reacciona de acuerdo con el programa hasta que obtiene las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente a fin de conseguir el control actualizado del proceso. Las norma IEC 1131 Intento de normalización del empleo del PLC's en automatización, (Gonzales, 2004). (6)

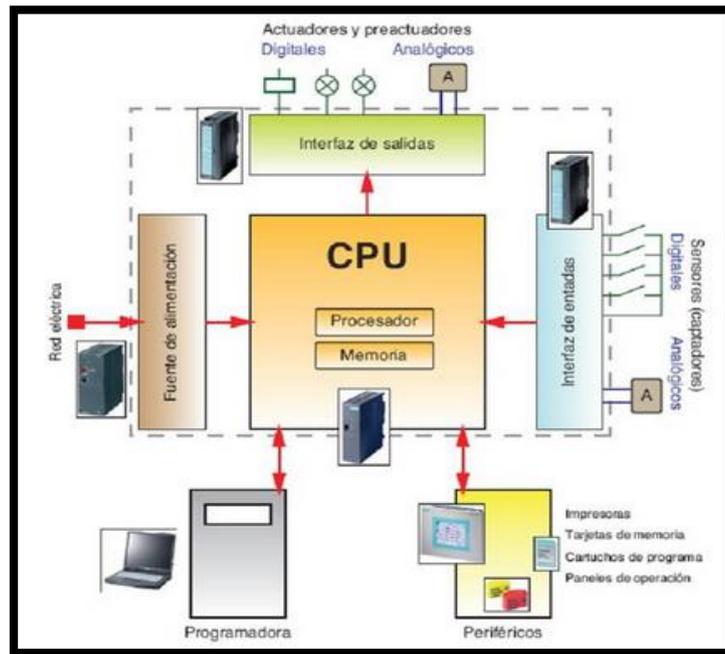


Figura 3: Arquitectura del PLC.

Fuente: Gonzales D (2004). Automatización de procesos industriales

2.3.2. Programación

El autómata es una máquina electrónica integrando elementos de hardware que son capaces de comunicarse físicamente con un proceso para: a) Recibir desde el proceso algunas variables (analógicas o digitales) que determinan su estado y que se denominan señales de entrada, y b) Enviar otras variables que modifiquen tal estado en un determinado sentido, y que se denominan señales de salida.

Por su condición de programable, es necesaria la intervención de un operador humano que defina cómo ha de evolucionar el proceso y que intercambie información con el autómata para: a) Establecer mediante una secuencia de instrucciones (programa), cuál ha de ser la ley general de mando. De la ejecución de tal programa se obtienen las señales de

salida o de control; y b) Intervenir, esporádica o continuamente sobre el proceso a efectos de informarse de su estado o de modificar su evolución. Al apartado a) se le denomina programación del autómatas y a la secuencia de instrucciones programa de la aplicación. Al apartado b) se le llama comúnmente explotación de la aplicación, mediante la cual se pueden modificar ciertos parámetros (consignas, tiempos, módulos de cuenta, etc.), pero no modificar el programa. Los PLC's actuales pueden programarse en los lenguajes definidos en la norma IEC 61131-3, (Gonzales, 2004). (6)



Figura 4: Programador de PLC.

Fuente: Gonzales D (2004). Automatización de procesos industriales

2.3.3. Interfaz hombre-máquina (HMI)

La interfaz de usuario asistida por ordenador, actualmente una interfaz de uso, también conocida como interfaz hombre-máquina (HMI) es el punto de acción en que un hombre entra en contacto con una máquina, proporcionando la información y el control necesarios para que el usuario lleve a cabo una tarea con el sistema interactivo. Se desarrollan en un entorno de programación grafica como VC++, Visual Basic, Delphi.

2.4. Sistema de control de procesos.

En las primeras plantas de procesamiento de fluidos del siglo pasado, el control de procesos requería frecuentemente de muchos operadores, quienes circulaban continuamente alrededor de cada unidad de proceso observando los instrumentos locales y manipulando las válvulas. Las operaciones generales de la planta requerían que los operadores realizaran un tour a la planta registrando manualmente los parámetros de importancia. Posteriormente, y tras efectuar los cálculos matemáticos apropiados, el operador hacía un segundo tour, ajustando los controles.

Con la transmisión de las señales neumáticas, nacieron las primeras salas de control, donde se trasladaron los indicadores a un lugar central, junto con los controladores que transmitían señales de vuelta hacia las válvulas. En ese entonces, las lecturas se realizaban en grandes indicadores locales y los operadores ajustaban los controles neumáticos en la sala de control. (Gonzales, 2004). (6)



Figura 5: Control de procesos.

Fuente: Gonzales D (2004). Automatización de procesos industriales

2.4.1. Tipos de lazos de control.

a. Lazo abierto.

- Depende de la experiencia del operador.
- Porque no tiene lazo de realimentación, la entrada no tiene información de salida.
- No corrige el efecto de las perturbaciones ni los cambios de carga.
- No tiene precisión ni exactitud.
- Bajo costo.
- Fácil instalación y mantenimiento.

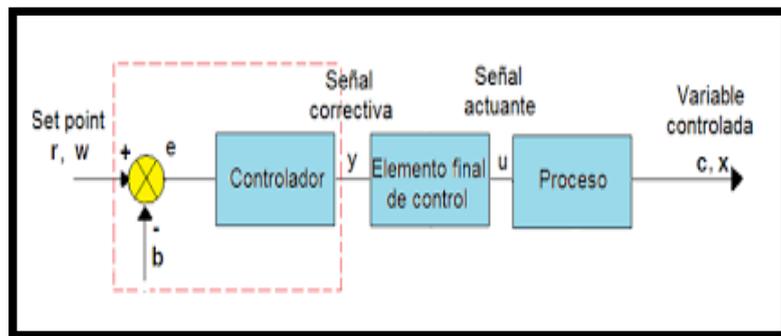


Figura 6: Lazo de control abierto.

Fuente: Gonzales D (2004). Automatización de procesos industriales

b. Lazo cerrado.

- Tiene lazo de realimentación, es decir la entrada tiene información de la salida
- Corrige el efecto de las perturbaciones.
- Es más preciso y exacto que el lazo abierto.
- Todo lazo realimentado presenta tiempo muerto

- Es más costoso y su instalación es más compleja que la del sistema de lazo abierto.

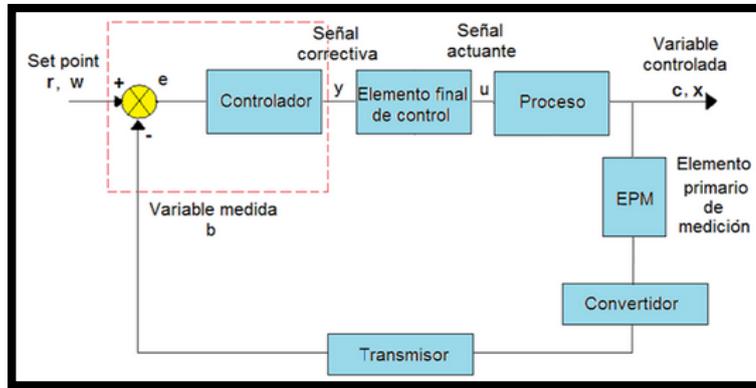


Figura 7: Lazo de control cerrado.

Fuente: Gonzales D (2004). Automatización de procesos industriales

2.4.2. Lógica de control

a. Lógica cableada.

La lógica cableada es una forma de realizar controles, en la que el tratamiento de datos (botonería, fines de carrera, sensores, presóstatos, etc.), se efectúa en conjunto con contactores o relés auxiliares, frecuentemente asociados a temporizadores y contadores. A través de la conexión de los contactos de los diferentes elementos involucrados, se ejecutan secuencias de activación, desactivación y temporizaciones de los diferentes elementos que permiten realizar el manejo de la maquinaria (contactores, válvulas, pistones, calefactores, motores, etc.). El uso de relés auxiliares hace posible incrementar la cantidad de contactos disponibles para realizar la lógica, lo cual habitualmente es necesario, además de servir de interfaz al manejar diferentes niveles de voltaje (24 a 220 VAC y viceversa, por ejemplo). Las temporizaciones también son recurrentes, por lo cual uno o más

temporizadores son comúnmente encontrados en éstos sistemas.
(Viloria, 2007). (7)



Figura 8: Cableado físico del PLC asociado a contactores, interruptores.

Fuente: Viloria, R (2007). Automatismos y cuadros eléctricos.

b. Lógica programable

Esta lógica utiliza los autómatas programables, los ordenadores y se encuentran animados por programas guardados en memorias. El autómata programable, elemento básico en la automatización está concebido para realizar ciclos de funcionamiento automático.

El programa puede realizarse en diversos lenguajes, aplicando en caso el método que más convenga, como son entre otros, los siguientes:

- Esquemas eléctricos de contactos.
- Ecuaciones.
- Esquemas lógicos.
- A partir de organigramas.
- A partir de Grafeet.

(Viloria, 2007). (7)



Figura 9: Programación del PLC, lenguaje Ladder.

Fuente: Vilorio, R (2007). Automatismos y cuadros eléctricos.

2.5. Instrumentación.

2.5.1. La instrumentación industrial.

La instrumentación influye mucho en el proceso de una industria, con un conjunto de elementos que sirven para medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en éste. Es el conocimiento de la correcta aplicación de los equipos encaminados para apoyar al usuario en la medición, regulación, observación, transformación, ofrecer seguridad, etc., de una variable dada en un proceso productivo.

2.5.2. Sistema de instrumentación.

Es una estructura compleja que agrupa un conjunto de instrumentos, un dispositivo o sistema en el que se mide, unas conexiones entre estos elementos y por último, y no menos importante, unos programas que se encargan de automatizar el proceso y de garantizar la repetitividad de las medidas.

En términos abstractos, un instrumento de medición transforma una variable física de interés, que se denomina variable medida, en una forma apropiada para registrarla o visualizarla o simplemente detectarla, llamada medición o señal medida.

Una medición asigna un valor específico a una variable física. Dicha variable física es la variable medida. Un sistema de medición es una herramienta utilizada para cuantificar la variable medida, (Creus, 1997).
(8)

2.5.3. Elementos del proceso de instrumentación.

a. El sensor,

Es empleado en algún fenómeno natural por medio del cual sensa la variable a ser medida. El transductor, convierte esta información sensada en una señal detectable, la cual puede ser eléctrica, mecánica, óptica, u otra. El objetivo es convertir la información sensada en una forma que pueda ser fácilmente cuantificada.



Figura 10: Tipos de sensores.

Fuente: Creus, S (1997). Instrumentación Industrial

b. Medición, regulación y control.

Las variables a medir, regular y controlar pueden ser:

VARIABLES FÍSICAS, caudal, presión, temperatura, nivel de líquidos, nivel de sólidos, velocidad, peso, humedad. VARIABLES QUÍMICAS, pH, conductividad eléctrica. (Creus, 1997). (8)

c. Los instrumentos.

De acuerdo a su función en el proceso y de acuerdo a la variable del proceso que miden, este modo de clasificarlos no es necesariamente el único, pero se considera bastante completo. De acuerdo a su función tenemos instrumentos indicadores, instrumentos ciegos, instrumentos registradores, elementos primarios, transmisores, transductores, convertidores, receptores, controladores. De acuerdo a la variable que miden, se refiere a la variable de proceso que se quiere medir ya sea de forma directa o indirecta. (Creus, 1997). (8)

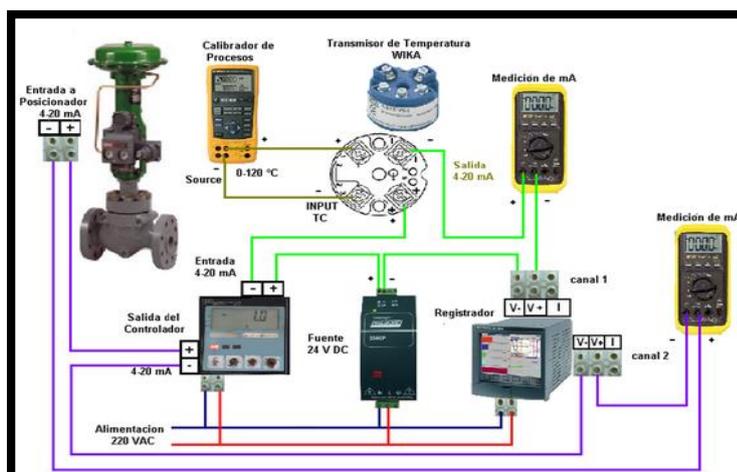


Figura 11: Instrumentación, medición, regulación y control.

Fuente: Creus, S (1997). Instrumentación Industrial.

d. Diagrama de flujo

En los procesos, es uno de los documentos más importantes para el ingeniero de diseño de instrumentación. En éste se presentan de una forma secuencial los equipos involucrados en el proceso, así como los datos de proceso deseables y las expectativas de los rangos de variación, características más resaltante de los equipos, sentidos de fluidos y cualquier otro dato de proceso relevante para el diseño de la Ingeniería, no solo de instrumentación, sino más importante aún, para todas las disciplinas.

Ahora bien, el diagrama de flujo informa sobre qué es lo que se espera que el proceso haga y como lo hará, pero en raras ocasiones, se indica en éste los puntos y variables que se desean controlar. Para determinar este punto, se requerirá del consenso de las disciplinas de procesos e instrumentación. A partir de ese momento, se definirán los puntos de medición, las características de los fluidos de procesos, los rangos de las variables y cuáles variables se desean indicar y/o controlar, y/o registrar, (Creus, 2010). (9)

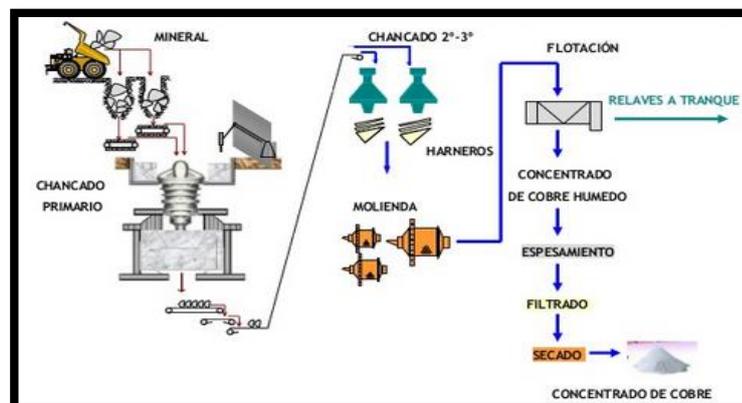


Figura 12: Diagrama de flujo de proceso de mineral.

Fuente: Creus, S (2010). Instrumentación Industrial.

e. Señales de campo.

Uno de los procesos deseados suele ser la amplificación o conversión de la señal al rango de tensión usual en los sistemas de adquisición de datos (0 a 10V); esto puede requerir una atenuación para señales más elevadas, o una amplificación apropiada para los de niveles bajos. Otro es su transformación al rango habitual de corriente en proceso de datos de campo (4 a 20 mA), para poder transmitirlos por cable trenzado a distancia. La transmisión en corriente proporciona una notoria inmunidad al ruido ya que la información no es afectada por caídas de tensión en la línea, impulsos parásitos, resistencias o voltajes inducidos por contaminación electromagnética, (Creus, 2010). (9)

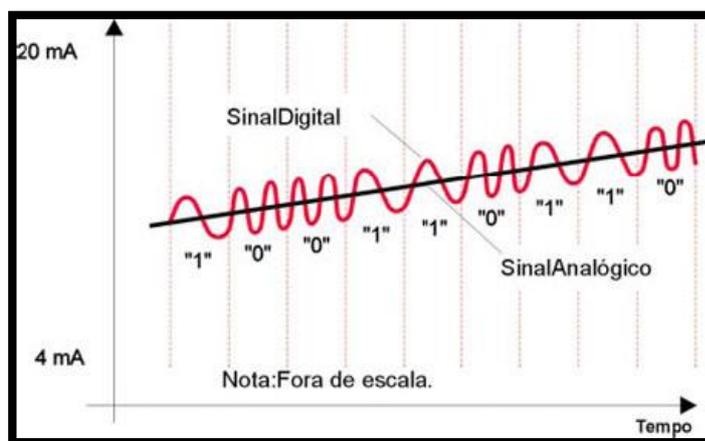


Figura 13: Señales de campo.

Fuente: Creus, S (2010). Instrumentación Industrial.

2.5.4. Códigos y normas de representación de los Instrumentos.

Para designar y representar los instrumentos de medición y control se emplean normas muy variadas que a veces varían de industria en industria. Esta gran variedad de normas y sistemas utilizados en las

organizaciones industriales indica la necesidad universal de una normalización en este campo. Varias sociedades han dirigido sus esfuerzos en este sentido, SAMA (Scientific, Apparatus Makers Association) de diagramas funcionales que emplean para las funciones block y las designaciones de funciones. La normas ANSI (Instrument Society of America) / ISA – S5.1 (Instrument Society of America) de la Sociedad de Instrumentos de Estados Unidos, y la DIN alemana, cuyas normas tienen por objeto establecer sistemas de designación (código y símbolos) (Creus, 2010).(9)

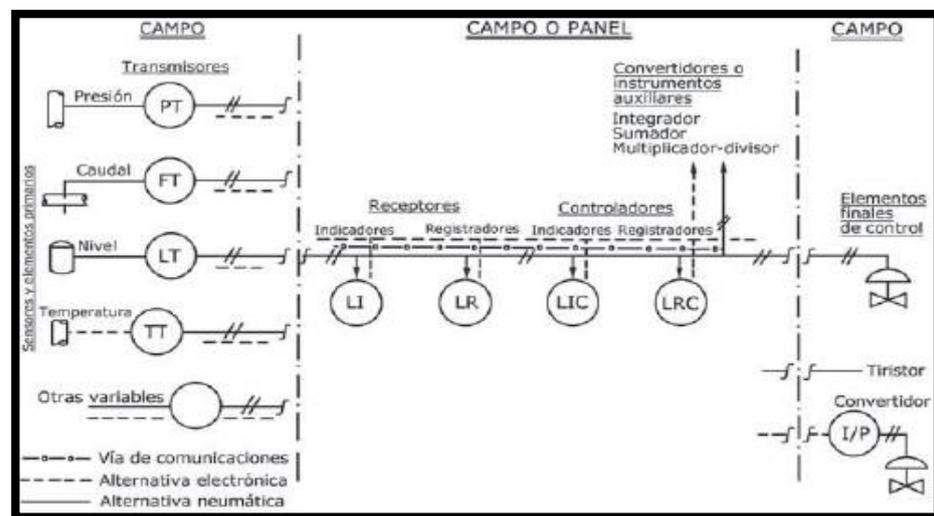


Figura 14: Simbología de Instrumentos de campo y de panel.

Fuente: Creus, S (2010). Instrumentación Industrial.

2.5.5. Circuito de molienda.

La molienda es la última etapa del proceso de conminución o fragmentación para la reducción del tamaño de las partículas. Los tamaños de salida de los productos de esta etapa, según Hukki (ETSIMV, 1996) (16)

Funcionamiento. El motor al recibir la energía eléctrica, inicia el movimiento del piñon, luego este a la catalina y el molino comienza a girar sobre sus muñones de apoyo y las chumaceras a una velocidad determinada para cada tamaño de molino (velocidad de operación). Cuando el molino trabaja, los ejes o bolas son elevadas por las ondulaciones (lifter) que presenta las chaquetas y suben hasta cierta altura, de onde caen golpeándose entre ellos y contra los forros. Vuelven a subir y a caer, así sucesivamente. En cada vuelta del molino hay una serie de golpes y fricciones, estos son los que muelen el mineral.

El proceso de la planta Outstanding Mining Perú consta del de trabajo continuo del molino de bolas, esto quiere decir, que el molino se alimenta de forma continua por un extremo y simultáneamente se va descargando el mineral molido por el otro extremo, la operación únicamente se detendrá para trabajos de mantenimiento o recarga de los cuerpos molturantes. En la industria minera y producción de áridos, se trabaja siempre de forma continua, Hukki (ETSIMV, 1996) (16)

Cantidad y peso constante. Se debe controlar continuamente procurando que la carga sea lo máximo posible uniforme. Si se alimenta poca carga se pierde capacidad de molienda y gasta inútilmente bolas y chaquetas. Si se alimenta demasiada carga se sobrecarga el molino y al descargarlo se pierde tiempo y capacidad de molienda (tonelaje).

Suministro de agua. La alimentación de agua a los molinos se contrala mediante la densidad de pulpa en la descarga del mismo.

Cuando el mineral y el agua ingresan al molino, en su interior, forman un barro liviano que tiene tendencia de pegarse a las bolas, por otro lado el agua ayuda a avanzar a la carga en el interior del molino, para su posterior salida.

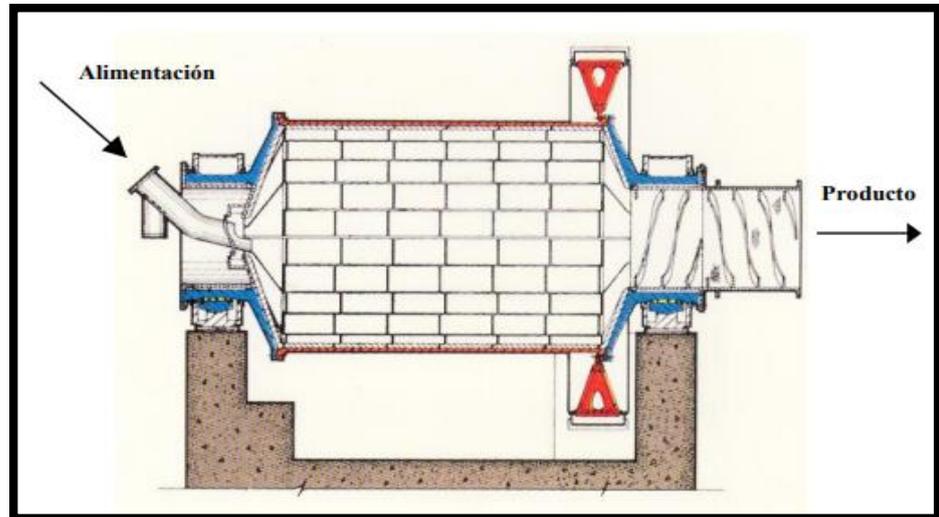


Figura 15: Molino para trabajo continuo.

Fuente: Creus, S (2010). Instrumentación Industrial.

a. Factores que determinan el tipo de molienda.

La molienda húmeda precisa menos energía por tonelada de mineral tratado (la humedad disminuye la resistencia de los fragmentos. La clasificación en medio húmedo exige menos espacio. La molienda por vía húmeda no necesita captadores de polvo y existe menos calentamiento de los equipos. La molienda húmeda tiene un mayor desgaste de cuerpos moledores y blindajes, Hukki (ETSIMV, 1996) (16)

Velocidad crítica.

Es aquella velocidad de giro mínima alcanzada por el molino, de forma que la fuerza centrífuga creada es suficiente para conseguir las partículas queden adheridas a los revestimientos del molino.

Volumen de carga.

Nos indica el volumen que ocupa la carga de bolas en el interior del molino, considerando también los huecos vacíos existentes entre las bolas y viene expresado en tanto por ciento (%) respecto al volumen del interior.

Molino de descarga por rebose. Trabajo en circuito cerrado para producir tamaños comprendidos entre 0.3-0.8 mm.

b. Problemas que presentan y medidas que se deben adoptar.

Rebalse las causas por las cuales se producen rebalse son: por sobrecarga, exceso de agua, defectos en la molienda y fajas flojas, esto generalmente se debe porque en la descarga de los molinos se presentan bolas gastadas, las cuales son arrastradas junto con la pulpa hacia las mallas e las bombas ocurriendo como consecuencia rebalses continuos y atoros de los Hidrociclones.

Hidrociclones son aparatos estáticos que separan por tamaños los sólidos de una pulpa utilizando fuerzas centrifugas a una determinada presión ya sea bombeada o por gravedad, Hukki (ETSIMV, 1996) (16)

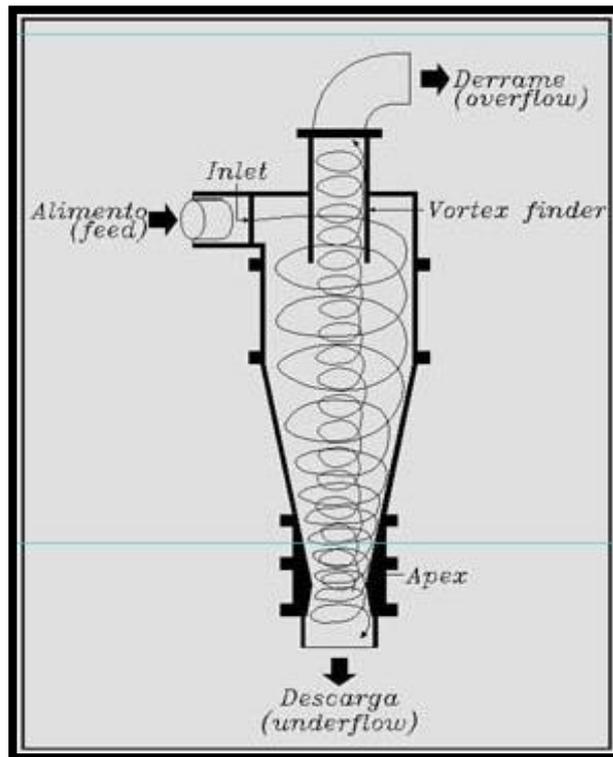


Figura 16: Partes de Hidrocución.

Fuente: Creus, S (2010). Instrumentación Industrial.

Cajón de descarga recipiente de metal con revestimiento de caucho, para evitar la fricción de las partículas reducidas del mineral. La descarga de pulpa del molino, está ligado a la salida del molino.

2.6. Definición de términos básicos.

1. Automatismo, conjunto de sensores, actuadores y controladores conectados convenientemente por medio de circuitos y/o buses de comunicación un determinado proceso para que funcione con una mínima intervención humana, (Iñiguez, 2011). (5)
2. HMI, Interface de comunicación entre una persona y la máquina.

3. Fiabilidad, medida de la probabilidad de que un instrumento continúe comportándose dentro de límites especificados de error a lo largo de un tiempo condiciones determinados y bajo condiciones especificadas.
4. Transmisor, instrumento que capta la variable de proceso y la transmite en forma de señal neumática (3-15 PSI), eléctrica (4-20 mA) y voltaje (0-25mV), hacia el bloque de control.
5. Controlador, dispositivo que emite una señal correctiva, después de comparar la variable controlada con el valor deseado.
6. Convertidores, son instrumentos que reciben una señal de entrada procedente de un instrumento y después de modificarla envían la resultante en forma de señal de salida estándar.
7. Receptores, reciben las señales que proceden de los transmisores y las indican o registran.
8. Sistema de control, es un conjunto de elementos interrelacionados entre si que permite comandar, regular o dirigir a otro sistema.
9. Variable controlada, dentro del bucle de control es la variable que se capta a través del transmisor y que origina una señal de retroalimentación.
10. Proceso continuo, proceso en cual entran componentes y salen productos en caudales sin restringir y durante largos periodos de tiempo.
11. Calibración, es la verificación del instrumento contra un patrón o estándar conocido para reducir errores de exactitud.
12. Actuadores dispositivo que ejerce acciones de cierta potencia transforma energía: eléctrica a mecánica, (González, 1997). (8)

13. Señal analógica, señal de salida del instrumento que es una función continua de la variable medida.
14. Señal digital, señal de salida del instrumento que representa la magnitud de la variable medida.
15. P&ID, documento de un proyecto de automatización o instrumentación, que incluye elementos a instalar, presenta condiciones de diseño de los equipos a instalar, detalla los sistemas de control a utilizar.
16. Elemento primario, dispositivo que está en contacto con la variable utilizan y absorben energía del medio para dar al sistema de medición una respuesta de variación de la variable controlada.
17. Transductor, dispositivo que produce una señal de salida en base a una señal de entrada, (Creus, 2010). (9)
18. Bus de Campo, es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción, (Gonzales, 2004). (6)
19. Muñones, del centro de las tapas salen unos tubos grandes llamados muñones. Por donde entra y sale la carga.
20. Carga moledora, constituyen parte importante en la molienda del mineral. Están formados por las bolas.
21. Chumaceras, se comporta como soporte del molino y a la vez es la base sobre la que gira el molino.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de la investigación.

3.1.1. Método de la investigación.

Se elaboró la investigación teniendo en cuenta los siguientes métodos:

Método cuantitativo.

Se utilizó este método porque se analizó la recolección de datos de 27 días identificando la cantidad de pérdidas de mineral en el proceso de molienda utilizando el control manual.

Método Analítico.

Se realizó la comparación de las pérdidas de mineral entre dos grupos. El control manual y el sistema de control automático. Fundamentando la comprobación de las hipótesis propuestas con el software SPSS.

3.1.2. Tipo de investigación.

El tipo de investigación que se utilizó en este trabajo de investigación es:

Tipo Aplicativa.

El tipo de investigación fue aplicada porque se evaluó el control manual, sus causas y efectos que produjeron las pérdidas de mineral. Por otro lado se profundizó los conocimientos prácticos del control manual, con la finalidad de hacerlo más eficiente y preciso con el sistema de control automático.

3.1.3. Nivel de investigación.

Explicativa.

Las pérdidas de mineral fue producido por la inestabilidad de las variables del proceso (tonelaje, flujo, presión, densidad), causando rebose y derrame a la salida del molino, ya que es controlada de forma manual por los operadores.

Se empleó el nivel de investigación experimental porque se realizó simulaciones de proceso y control PID, para saber cómo disminuye las pérdidas de mineral con el control automático. Es decir, se realizó experimentaciones antes de la prueba y después de la prueba.

3.2. Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación que se utilizó es experimental, porque se probó el sistema de control automático por simulaciones.

3.3. Población y muestra de la investigación

3.3.1. Población

La población tomada en cuenta fue de 30 días. Se consideró esta cantidad porque en el año se presentó 30 días con mayor cantidad de pérdidas de mineral usando el control manual.

3.3.2. Muestra.

La muestra tomada en cuenta fue 27 días para identificar la cantidad de pérdidas de mineral. El tipo de muestra fue probabilística porque se seleccionó 27 días entre los meses de Junio y Julio.

Ecuación 1: Cálculo de la muestra.

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

Donde:

- Nivel de confianza / $Z = 1.96$ para lograr un nivel de confianza del 95 %
- Probabilidad a favor / $P = 0.5$
- Probabilidad en contra / $Q = 1 - p = 0.5$
- Error de estimación / $E = 5 \% = 0.05$

- Tamaño de población / N= 30 días
- Tamaño de muestra / n= 27 días

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos.

a. Observación.

Se empleó la observación directa ya que se estuvo en contacto personal con el hecho que se investigó para poder registrar cuánto de pérdidas de mineral se producían utilizando el control manual. Un aspecto importante es que esta observación también fue participativa porque para proponer el sistema de control automático se tuvo que estar cerca del proceso del mineral para dar parte del fenómeno que se observó.

b. Medición.

Se empleó la medición para identificar la cantidad de pérdidas de mineral utilizando el control manual en el proceso de molienda.

3.4.2. Instrumentos.

Se utilizó el siguiente instrumento de medición, balanza Mercy.

3.4.3. Recolección de datos.

Se utilizó una ficha de recolección de datos para registrar la cantidad de pérdidas de pérdidas de mineral.

a. Valides del contenido.

Se basa en las definiciones de las variables de estudio.

3.5. Técnicas de tratamiento de datos.

3.5.1. Identificación de problemas.

Se hizo un diagnóstico para identificar cuáles son los problemas que causan las pérdidas de mineral. Para ello se empleó la observación directa.

3.5.2. Identificación de los errores y defectos.

Se identificó los errores y los defectos del proceso de molienda. Se empleó una tabla de análisis.

3.5.3. Uso de técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

Para la recolección de datos se empleó la observación directa, tablas de análisis y de registro.

3.5.4. Propuesta de implementación del sistema de control automático.

Finalmente se hizo las propuestas de un sistema de control automático con la ayuda del personal de operación del circuito de molienda, el programa vicio, el software de creación y simulación de circuitos eléctricos Cade Simu V.3, AutoCAD, simulador de procesos en el programa HSC Chemistry, la herramienta ABB EnergySave (calculador de ahorro de energía) y el software SPSS.

CAPITULO IV

4. Control del proceso de molienda

4.1. Control Manual en el proceso de molienda.

4.1.1. Registro de pérdidas de mineral con el control manual.

En la Tabla N° 4 muestra la toma datos que fue de 10 minutos por día para identificar la cantidad de pérdidas de mineral, de cada monitoreo y medición se registró la cantidad de pérdidas mineral utilizando el control manual. La evaluación se hizo en 27 días. El periodo de tiempo fue del mes de junio a julio del 2015. Para obtener los diferentes valores que nos facilitó el llenado de la tabla.

Tabla 4: Registro de muestras de pérdidas de mineral.

ITENS	MES	Pérdidas de mineral Kg/m3
1	15/06/2015	141.2
2	16/06/2015	149.6
3	17/06/2015	169.3
4	18/06/2015	176.7
5	19/06/2015	187.4

ITENS	MES	Pérdidas de mineral Kg/m3
6	20/06/2015	156.3
7	21/06/2015	169.8
8	22/06/2015	198.3
9	23/06/2015	187.6
10	24/06/2015	211
11	25/06/2015	78.2
12	26/06/2015	214
13	27/06/2015	113.5
14	28/06/2015	164.6
15	29/06/2015	108.1
16	30/06/2015	114.8
17	01/07/2015	121
18	02/07/2015	79.5
19	03/07/2015	201.7
20	04/07/2015	139.8
21	05/07/2015	214.2
22	06/07/2015	182.6
23	07/07/2015	179.3
24	08/07/2015	166.4
25	09/07/2015	174.6
26	10/07/2015	177
27	11/07/2015	166.8

Fuente: Propia.

La fig. N° 17, se observa la estadística de pérdidas de mineral de 10 minutos por día, teniendo una variación constante del mineral a la salida del molino, utilizando el control manual.

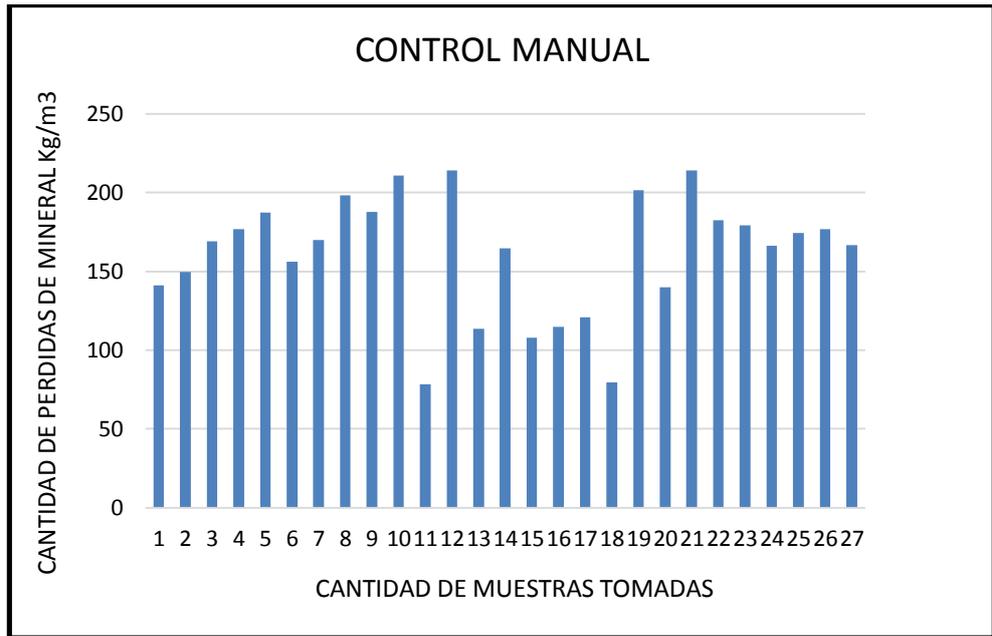


Figura 17: Pérdidas de mineral, control manual.

Fuente: Propia.

4.1.2. Análisis de la operación de las variables del proceso.

a. Control y medición de flujo.

Para el control de flujo el operador lo realiza por medio de una válvula manual tipo bola instalado en la tubería, que le permite regular el flujo. La medición lo realiza por medio de un recipiente que es colocado al final de la tubería logrando captar la cantidad de flujo al mismo tiempo activar un cronometro y se logra detener en el momento en el que el recipiente se retira de la tubería.

b. Control y medición de presión.

Para el control de la presión el operador lo realiza por medio de una válvula manual tipo bola instalada en la tubería con salida a los ciclones. La medición lo realiza por medio de manómetro analógico instalado en la tubería de esta forma el operador realiza

la regulación de presión en la línea y trata de mantener una presión constante para el correcto funcionamiento de los ciclones.

c. Control y medición de densidad.

Para el control de la densidad el operador lo realiza por medio de una válvula manual tipo bola instalada en la tubería del cajón de descarga del molino el cual incrementa o disminuye el flujo de agua para obtener la densidad de pulpa deseada. La medición de densidad de pulpa lo realiza por una balanza mecánica de aguja, Marcy. La medición se obtiene por medio de un recipiente de 1000ml. La medición base para determinar la calibración de la balanza se realiza con agua que le corresponde una densidad de 1000Kg/m³.

Tabla 5: Análisis del proceso de molienda.

PROCESO	Problemas observados por el investigador.
Alimentación a Molino.	Falta un tq de finos, para acumular los sólidos.
Control y medición de flujo	Control manual. Inestabilidad de la variable
Control y medición de presión	Control manual. inestabilidad de la variable
Control y medición de densidad	Control manual, inestabilidad de la variable de proceso.

Fuente: Propia.

4.2. Identificación de causa y efecto de las pérdidas de mineral.

Tabla 6: Identificación de causa y efecto del control manual.

PROCESO	CAUSA	EFEECTO
Alimentación a Molino.	<ul style="list-style-type: none"> • Exceso de velocidad en la faja transportadora • Exceso de ingreso de mineral 	<ul style="list-style-type: none"> • Variación de mineral. • Derrame de mineral
Control y medición de flujo	<ul style="list-style-type: none"> • Mala regulación de Válvula. • Mediciones inexactas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Variación de flujo • Falta de un flujómetro
Control y medición de presión	<ul style="list-style-type: none"> • Manómetros alejados del operador • Manómetros en mal estado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Operador no cuenta con datos reales. • Variación de presión línea a los ciclones.
Control y medición de densidad	<ul style="list-style-type: none"> • Mala regulación de válvulas • Lectura de balanza inadecuada. • Exceso y carencia de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Saturación de tuberías • Pérdida de mineral. • Variación de la densidad

Fuente: Propia.

4.3. Circuito de molienda control manual.

La Fig. N°18 muestra el circuito de control manual y las dificultades que se viene operando en la planta, la alimentación al molino se realiza por medio de un cargador frontal y las fajas transportadoras mantienen velocidad constante, por lo tanto no se tiene un control adecuado de ingreso y salida de mineral del molino, causando rebose y pérdidas de mineral, dentro de las dificultades de operación manual existentes es el control inadecuado de las válvulas manuales de flujo de ingreso y salida de agua la cual son causa de variación en la densidad de la pulpa.

4.4. Propuesta para evitar pérdidas de mineral en el proceso de molienda.

Se analizó los errores identificados empleando tablas de análisis, posteriormente se hizo la propuesta de implementar un sistema de control automático para reducir las pérdidas de mineral por defectos en la operación del proceso de molienda. El sistema de control automático fue adoptado por el investigador en base a la fuente teórica recolectada del proceso manual de la molienda.

4.4.1. Filosofía de control de la planta.

a. Motores y Bombas.

Los motores y bombas son controlados según la siguiente lógica:

Cada motor y cada bomba tiene en campo una botonera con un pulsador para el encendido "START", un pulsador para el apagado "STOP" y un selector de LOCAL / REMOTO.

Cuando el selector está en REMOTO, indica que el motor se puede operar desde el HMI del Centro de Control o desde el Panel de Operador. Cuando el selector está en LOCAL, indica que el motor se puede operar desde la botonera de campo.

Los botones de START, STOP y el selector LOCAL/REMOTO son 3 entradas discretas que van hacia el controlador del Centro de Control de Motores en el caso de los motores y bombas con arranque directo, y son 3 entradas que van por comunicación PROFIBUS a través de los variadores para el caso de los motores y bombas con éste tipo de accionamiento. Lo mismo sucede con las señales de FALLA y RUN STATUS.

El controlador se encarga de la lógica para arrancar o detener los motores o bombas, según se la orden que se le asigne.

b. Modos de Operación.

Para todo el proceso se tiene tres formas de interactuar con los equipos: modo LOCAL, modo REMOTO-HMI y modo REMOTO-PANEL. Se le llamara modo LOCAL cuando los motores y bombas son operados desde las botoneras en campo, se le llamará modo HMI cuando los motores y bombas son operados desde el centro de control y se le llamará modo PANEL cuando los motores y bombas son operados desde el panel de operador ubicado en campo. Para los dos últimos casos la operación estará dentro del modo REMOTO.

Cuando el HMI pierda conexión con el DCS, se reportará al controlador y el control pasará a modo PANEL. Si el panel pierde conexión, el operador deberá poner el selector de LOCAL/REMOTO de campo al modo LOCAL y operará manualmente cada motor o bomba.

c. Variadores de Velocidad.

Estos controlan los motores de las fajas CV-3106, CV-3111 y las bombas, PU-3125, PU3126. Dos de estos variadores intervienen en lazos de control para la alimentación de mineral al Molino y para el envío de pulpa hacia los ciclones.

d. Válvulas de Control.

Estas son FCV-30001 y FCV-30002. Al igual que los motores y bombas, éstas serán controladas de forma local a través de un pulsador ABRIR/CERRAR y forma remota manual o automática desde el panel de operador o desde el HMI.

4.4.2. Operación del Sistema de Molienda.

a. Secuencia de Arranque y Parada.

En primer lugar, se debe verificar que todas las fajas y equipos se encuentren listos para ser arrancados y sin ningún sistema de seguridad activado. En campo se deberá inspeccionar que las fajas se encuentren en correcto estado.

La secuencia de arranque se inicia con el arranque del Molino M-3140, (7X21), seguido de las bombas PU-3125 o PU-3126. Luego la faja alimentadora CV-3106 y CV-3111.

Para completar la secuencia de arranque del sistema de molienda se deberá arrancar Las bombas PU-3105, PU-3123 y M-3113, M-3114, PU-3115, M-3116, M-3117, M-3118, M-3119, 3120, M-3143, se arrancarán de forma independiente a la secuencia del circuito de molienda.

La secuencia de parada del sistema de molienda será ejecutada bajo criterio del operador del área y en modo remoto se deberán tener en cuenta los enclavamientos secuenciales entre motores. La secuencia de parada programada se inicia con la parada de la faja CV-3106, seguida de la faja CV-3111.

Posteriormente se deberá parar la bomba PU-3105 luego el Molino 7X21 y la bomba PU-3125 o 3126 según la que esté seleccionada.

Para la parada de emergencia no existe una secuencia dada, y ésta responderá a una condición de alarma crítica o enclavamiento del sistema. Cuando esto suceda los equipos asociados al sistema deberán detenerse inmediatamente.

4.4.3. Lazos de Control.

a. Relación Agua Mineral.

Este lazo es medido por la balanza electrónica WIT-30001 y el flujómetro magnético FIT-30001. Los elementos finales de este lazo son el variador de velocidad de las fajas CV-3106, CV-3111 y la válvula de control de ingreso de agua FCV-30001.

El segundo lazo esta compuesto por el flujómetro magnético de agua FIT-30001 y la válvula de control de ingreso de agua FCV-30001. El valor del tonelaje pesado por la balanza WIT-30001 y multiplicado por un “factor de relación (k=2)” (dato a ser entregado por el área de procesos) nos da como resultado el flujo de agua requerido para realizar la molienda.

$$\text{Flujo del agua} = (78 \text{ tn/h} * 2) = 156 \text{ m}^3/\text{h}$$

El flujo de agua es medido por el flujómetro FIT-30001 y controlado por la válvula FCV-30001.

Con este lazo controlamos la dosificación de agua en relación al tonelaje ingresado al molino. También de manera indirecta es posible controlar la densidad de la molienda cambiando el “factor de relación” en el sistema de control. En este lazo se utilizaremos un PID (proporcional integral derivativo).

b. Control de Presión.

En las líneas de ingreso de pulpa a los ciclones se considera un control de presión a fin de garantizar una presión constante y necesaria para el correcto funcionamiento de los ciclones.

Este lazo es conformado por un sensor de presión en cada línea de salida de las bombas PU-3125 y PU-3126 teniendo como

elemento final el lazo a los variadores de velocidad de las bombas PU-3125 o PU-3126. El operador colocara la presión deseada necesaria para que los ciclones realicen de manera eficiente su trabajo, la presión es monitoreada por los transmisores de presión PIT-30001 o PIT-30002 según sea el caso de la bomba seleccionada, el sistema de control de manera automática regula los RPM de las bombas. En este lazo se utilizó un PID (proporcional integral derivativo).

El controlador de la balanza debe mantener el valor prefijado de esta forma se ajustara la velocidad de la bomba.

Para evitar cavitación en las bombas, el sistema de control tiene como interlock la alarma de nivel bajo de los transmisores de nivel LT-30004 y LT-30005.

c. Control de Densidad.

Otro lazo propuesto para esta área, es un lazo de control de densidad en cada línea de salida de las bombas de descarga del molino, con el cual se garantizará una densidad constante a la entrada de los ciclones.

Para la línea que alimenta al ciclón 1, los datos de proceso son medidos por el sistema flujomasa DIT-30002 y el flujómetro magnético FIT-30002. El elemento final de este lazo es la válvula de control de agua FCV-30002.

Para la línea que alimenta al ciclón 2, los datos de proceso son medidos por el sistema flujomasa DIT-30003 y el flujómetro magnético FIT-30003. El elemento final de este lazo también es la válvula de control de agua FCV-30002, la selección es la misma que la selección de las bombas PU-3125 o PU-3126.

A cada sistema flujomasa DIT-30002 y DIT-30003 es necesario ingresar la señal de flujo FIT-30002 o FIT-30003 (según sea el caso) a fin de que pueda realizar el cálculo de flujomasa en la misma unidad electrónica y obtener los datos de proceso requeridos.

La Fig.Nº19 muestra el circuito propuesto, un sistema de control automático implementando equipos modernos, inteligentes que realizan trabajos de control y precisión facilitando la operación y supervisión por medio de la interface hombre - máquina (HMI). Los equipos de control de medición avanzados como el flujómetro, densímetro, transmisores de presión, transmisores de nivel, transmisores de temperatura, electroválvulas nos facilitan parámetros que no son físicamente medidos y controlados por el operador esto nos permite mantener el proceso en valores aceptables y óptimos. De la misma forma es reemplazado los arrancadores comunes de los motores eléctricos por los variadores de velocidad (VDF) y el arrancador suave (soft starter). Estos equipos nos facilitan controlar los arranques de los motores a velocidades (rpm) adecuadas. El arrancador suave (soft starter) permite trabajar al molino a velocidades inferiores a la velocidad crítica sin errores y fallas. Los variadores de velocidad optimizan el traslado del material por medio de un control de velocidad en las fajas alimentadoras, de esta forma se evitara el rebose de material a la salida del molino reduciendo las pérdidas de mineral. Se lograra mejorar la eficiencia de las bombas con traslado de volumen de flujo requerido hacia los Hidrociclones, indicando que el sistema de control automático optimiza el proceso de molienda.

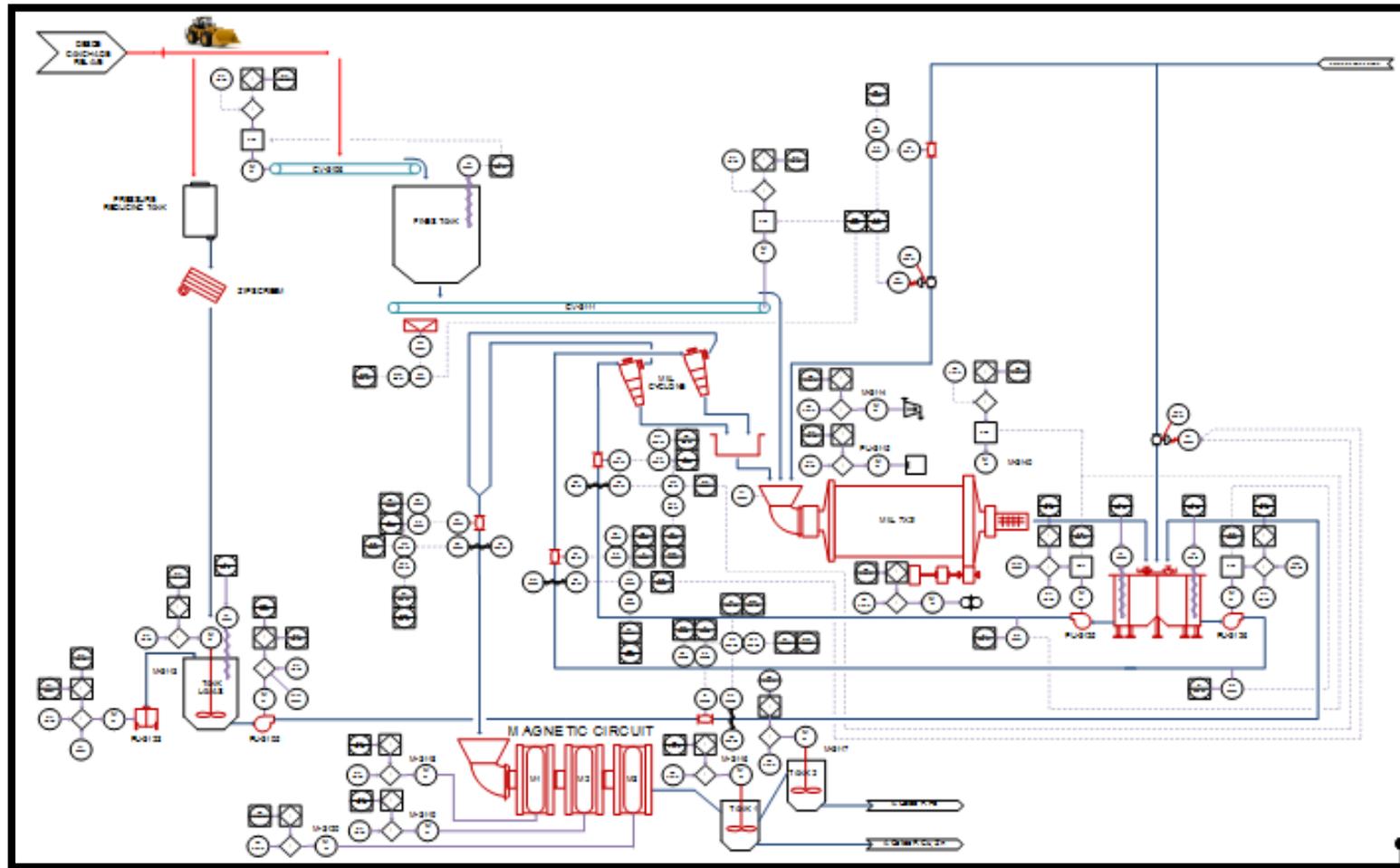


Figura 19: Circuito de control Automático.

Fuente: Propia.

CAPITULO V

5. Simulación del proceso de molienda

5.1. Simulación del Sistema de Control Automático.

Las variables estables del proceso de molienda que se requiere se mencionan en la siguiente tabla N° 7.

El proceso de simulación fue realizado con el programa HSC Chemistry con un 95% de confiabilidad.

Tabla 7: Registro de variables requeridas.

	INGRESO A MOLINO	SALIDA DE MOLINO
DENSIDAD	1600 Kg/m ³ A 1700 Kg/m ³	1350 Kg/m ³ A 1450 Kg/m ³
%SOLIDOS	76% 80%	64% 68%

Fuente: Outstanding Mining Perú.

5.1.1. Simulación del proceso de molienda.

El uso del software HSC Chemistry aporta ventajas al momento de conocer la eficiencia en las plantas industriales, facilita la toma de medidas correctivas para mejorar el proceso. El proceso de simulación se realizó tomando en cuenta los datos de trabajo operacional, complementando con información bibliográfica. Las variables obtenidas como presión (Psi), flujo (m³/h), densidad (Kg/m³), porcentaje de ingreso, salida de sólidos, son resultados a partir del incremento de tonelaje en la alimentación al molino (Tn/h), los resultados nos servirán como modelo para la mejora del circuito de molienda.

La figura 20, muestra la simulación del proceso de molienda utilizando el sistema de control automático. La simulación encuentra los puntos de estabilidad de las variables (Psi), flujo (m³/h), densidad (Kg/m³) que se requieren para controlar y reducir las pérdidas de mineral. Los resultados se visualizan en la tabla dinámica de Excel del simulador.

La figura 21, muestra la simulación del proceso de molienda y la reducción de pérdidas de mineral. Las flechas indican la estabilidad del flujo dinámico que circula en la molienda. Los resultados simulados de pérdidas de mineral se reflejan en una tabla dinámica de Excel.

La tabla N° 8, muestra el resultado de cantidad de pérdidas de mineral por cada simulación de 5 segundos a la salida del molino. Estos datos serán comparados con las pérdidas de mineral utilizando el control manual.

a. Resultados del proceso de simulación, obtenidos por medio de una tabla en Excel.

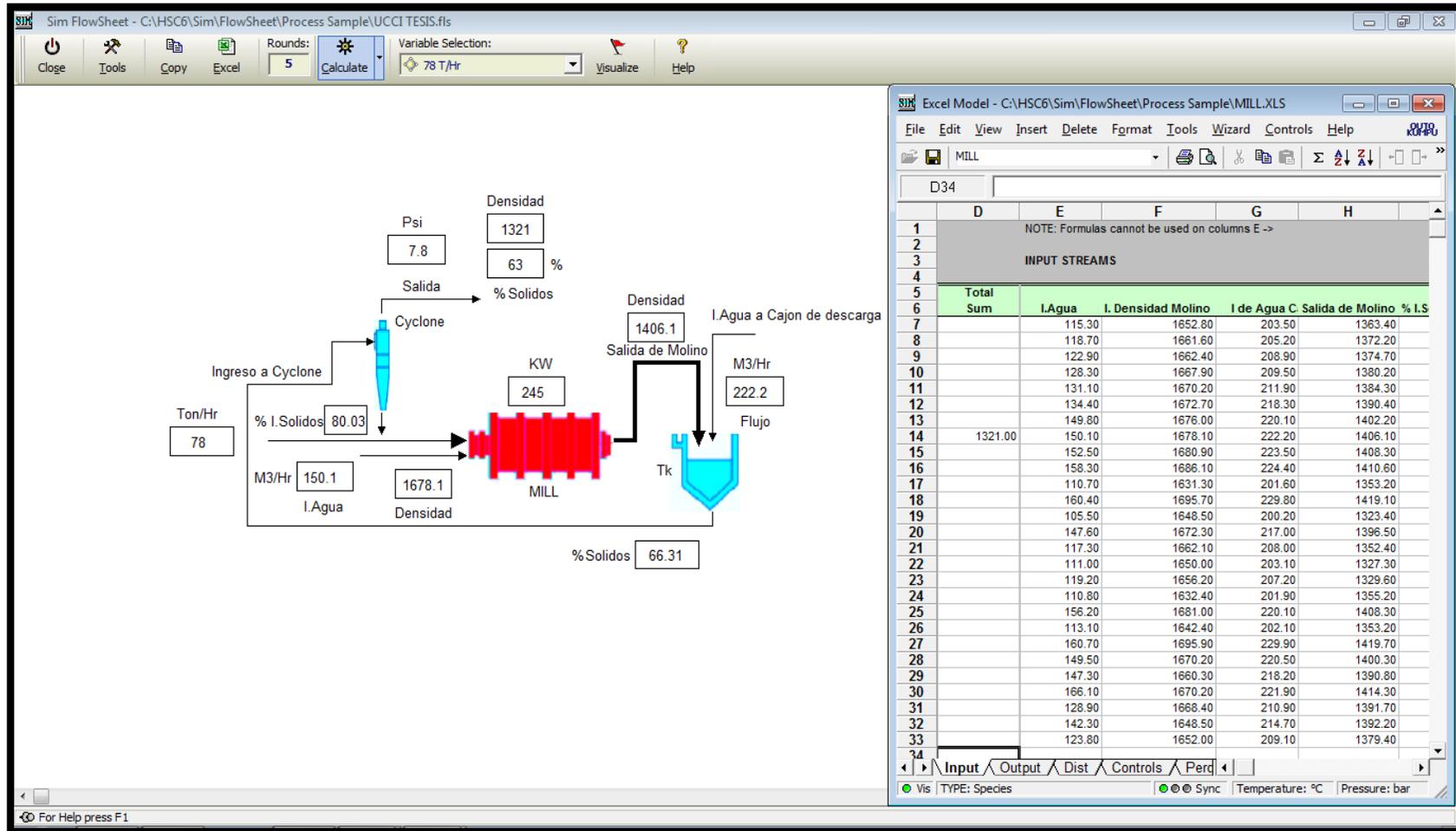


Figura 20: Simulación del proceso de molienda y obtención de variables.

Fuente: Propia.

b. Flujo dinámico del proceso de molienda con una tabla en Excel de la eficiencia del proceso.

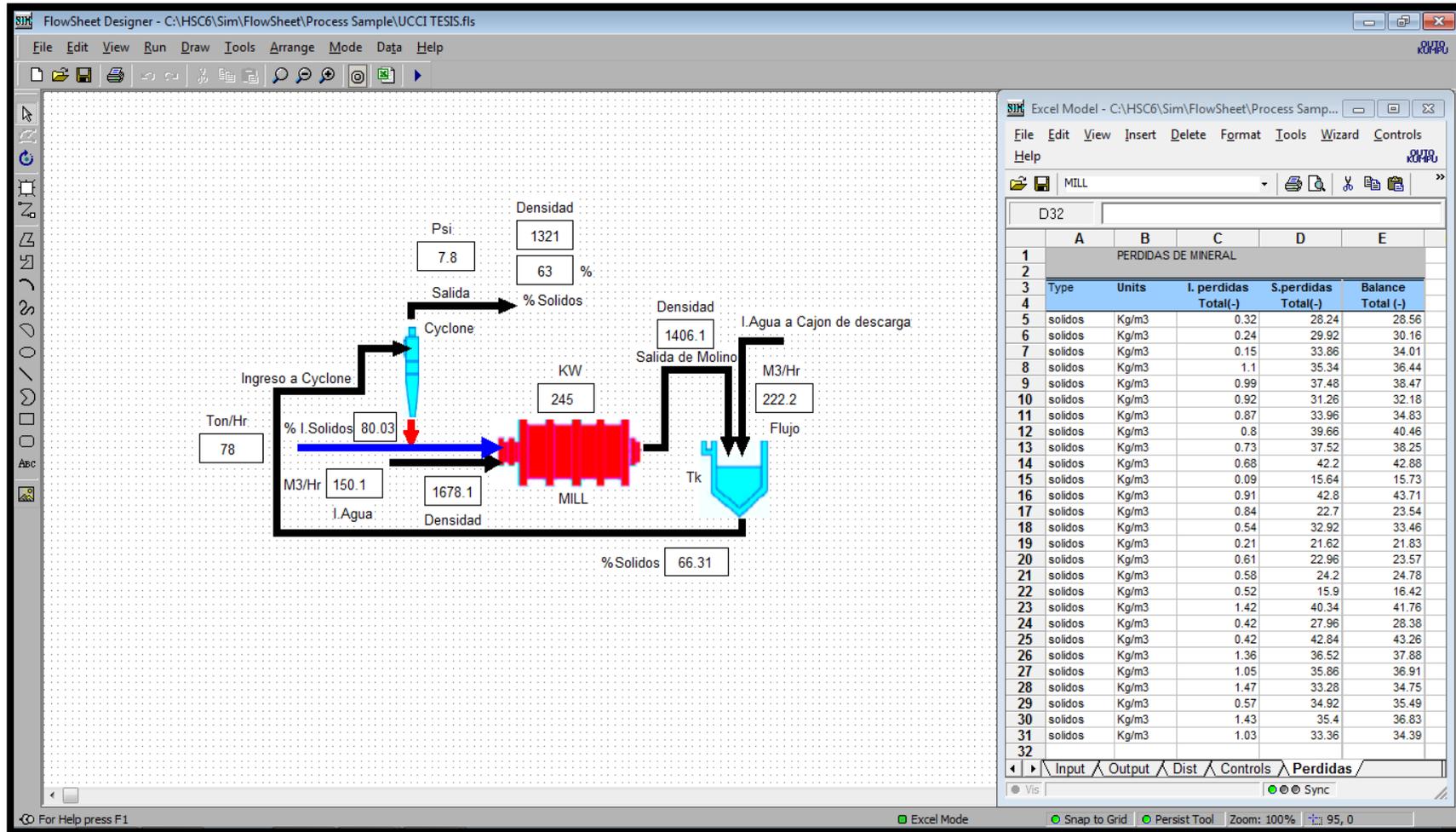


Figura 21: Reducción de pérdidas de mineral, sistema de control automático.

Fuente: Propia.

c. Resultados de simulación con registro de variables de proceso.

Tabla 8: Registro de simulación del proceso.

Sim	Presión en la línea a ciclones (PSI)	Ingreso a molino flujo (M3/H)	Salida de molino flujo (M3/H)	Ingreso a molino densidad (kg/M3)	Salida de molino densidad (kg/M3)	Ingreso de solidos %	Salida de solidos %	Perdidas de mineral kg/M3 Salida del molino
1	7.30	115.3	203.5	1652.8	1363.4	78.82	65.02	28.24
2	7.32	118.7	205.2	1661.6	1372.2	79.24	65.44	29.92
3	7.45	122.9	208.9	1662.4	1374.7	79.28	65.56	33.86
4	7.48	128.3	209.5	1667.9	1380.2	79.54	65.82	35.34
5	7.53	131.1	211.9	1670.2	1384.3	79.65	66.02	37.48
6	7.64	134.4	218.3	1672.7	1390.4	79.77	66.31	31.26
7	7.78	149.8	220.1	1676	1402.2	79.93	66.87	33.96
8	7.8	150.1	222.2	1678.1	1406.1	80.03	67.09	33.28
9	7.86	152.5	223.5	1680.9	1408.3	80.70	67.16	37.52
10	7.97	158.3	224.4	1686.1	1410.6	81.41	67.27	42.2
11	7.12	110.7	201.6	1631.3	1353.2	75.46	58.35	15.64
12	8.11	160.4	229.8	1695.7	1419.1	82.3	67.60	42.8
13	7.15	105.5	200.2	1648.5	1323.4	72.45	60.84	22.7

Sim	Presión en la línea a ciclones (PSI)	Ingreso a molino flujo (M3/H)	Salida de molino flujo (M3/H)	Ingreso a molino densidad (kg/M3)	Salida de molino densidad (kg/M3)	Ingreso de solidos %	Salida de solidos %	Perdidas de mineral kg/M3 Salida del molino
14	7.71	147.6	217	1672.3	1396.5	78.34	66.8	32.92
15	7.24	117.3	208	1662.1	1352.4	76.34	64.8	21.62
16	7.20	111	203.1	1650	1327.3	73.36	61.72	22.96
17	7.28	119.2	207.2	1656.2	1329.6	74.02	61.94	24.2
18	7.13	110.8	201.9	1632.4	1355.2	75.48	59.8	15.9
19	8.12	156.2	220.1	1681	1408.3	81.23	67.18	40.34
20	7.28	113.1	202.1	1642.4	1353.2	77.72	64.02	27.96
21	8.13	160.7	229.9	1695.9	1419.7	82.8	67.63	42.84
22	7.81	149.5	220.5	1670.2	1400.3	80.31	65.16	36.52
23	7.74	147.3	218.2	1660.3	1390.8	80.26	64.13	35.86
24	7.98	166.1	221.9	1670.2	1414.3	81.65	69.02	39.66
25	7.55	128.9	210.9	1668.4	1391.7	79.68	64.11	34.92
26	7.70	142.3	214.7	1648.5	1392.2	80.24	64.09	35.4
27	7.52	123.8	209.1	1652	1379.4	79.87	66.84	33.36
n	7.6	134.5	213.5	1664.7	1381.4	78.9	65.1	32.2

Fuente: Propia.

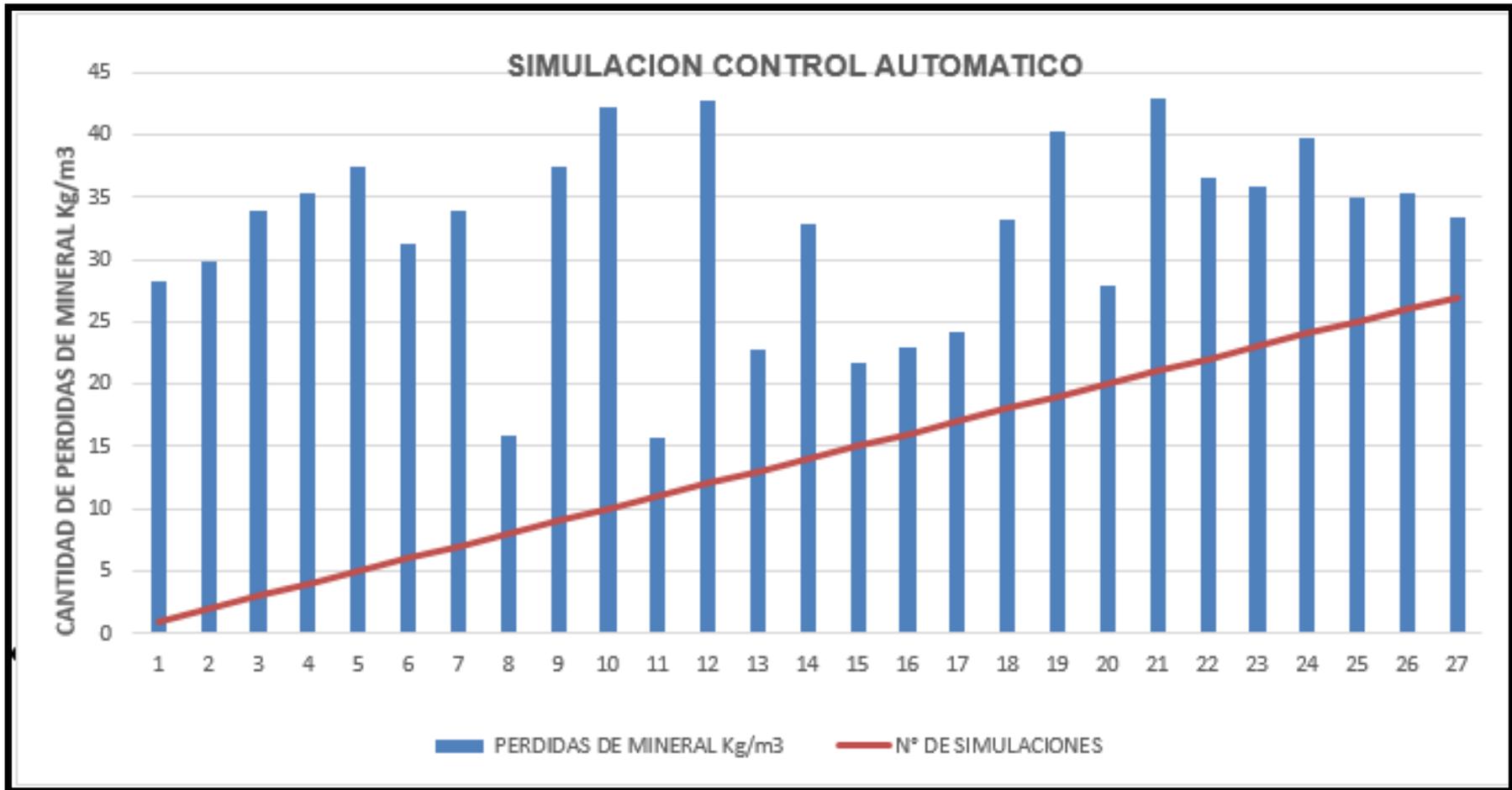


Figura 22: Tendencia de pérdidas de mineral control automático.

Fuente: Propia.

En este lazo se utilizó un controlador PID (proporcional integral derivativo) aplicando la regla de Ziegler y Nichols, figura 24. De esta forma sintonizaremos el controlador basado en la curva de reacción.

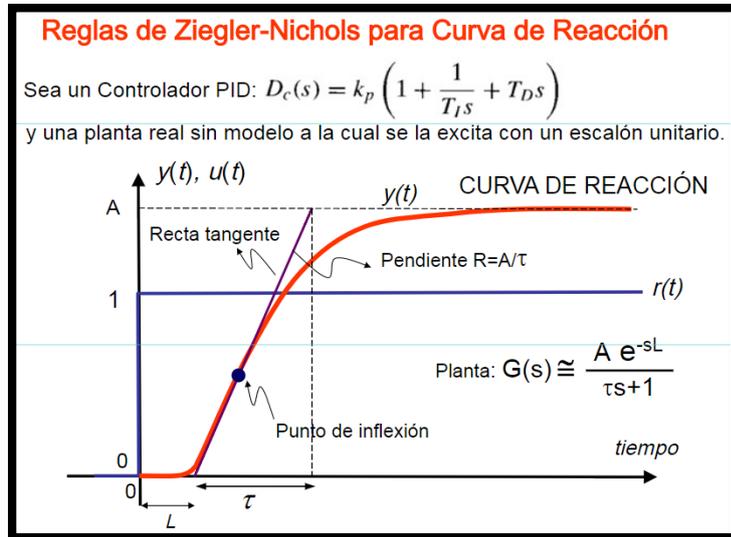


Figura 24: Reglas para Modular la Curva de reacción.

Fuente: Propia.

TIPO DE CONTROLADOR	Kp	Ti	Td
PID	1.2 (T/KL)	2 * L	0.5 L

Proceso:

Ecuación 2: Proceso de un controlador

$$K / (1+Ts) * e^{(-L s)}$$

Para el cálculo del proceso de primer orden se cálculo haciendo uso de la ecuación diferencial.

Valor del proceso = $b * (salida \text{ en tiempo compensado por tiempo de retardo}) - a * \text{ultima PV}$. Donde:

$$a = e^{-1/L}$$

$$b = K_p * (1+a)$$

K = Ganancia en estado estable

T = Tiempo constante del sistema (seg)

L = Retardo en el tiempo (seg)

Controlador:

Ecuación 3: Cálculo de un controlador.

$$G_c(s) = K_p * \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) = G_c(s) = \frac{K_d + K_p + K_i}{s}$$

Ecuación 4: Constante integral.

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

Ecuación 5: Constante derivativa.

$$K_d = K_p * T_d$$

T_i = Tiempo Integral

T_d = Tiempo derivativo

K_p = Constante proporcional, provoca las oscilaciones.

K_i = Constante integral (seg), corrige la diferencia que existe entre SP-PV

K_d = Constante derivativa (seg), minimiza las oscilaciones y las pendientes

El error es la diferencia ($S_p - P_v$). El error se acumula según el tiempo hasta encontrar la estabilidad del proceso como muestra la ecuación 6, para el cálculo de los términos Integral y derivativo, se calcularon restando el error actual y el último error.

La figura 25 muestra el resultado de cálculo del controlador PID, quien define el siguiente valor de salida. Este ajuste del controlador PID nos muestra los parámetros de ajuste en la variable manipulada (MV) con respecto al error.

Ecuación 6: Cálculo del controlador PID.

Siguiente salida

$$= \text{Ganancia del controlador} * (\text{Error} + \text{AcuError}) * \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d\right) * (\text{Error actual} - \text{Error anterior})$$

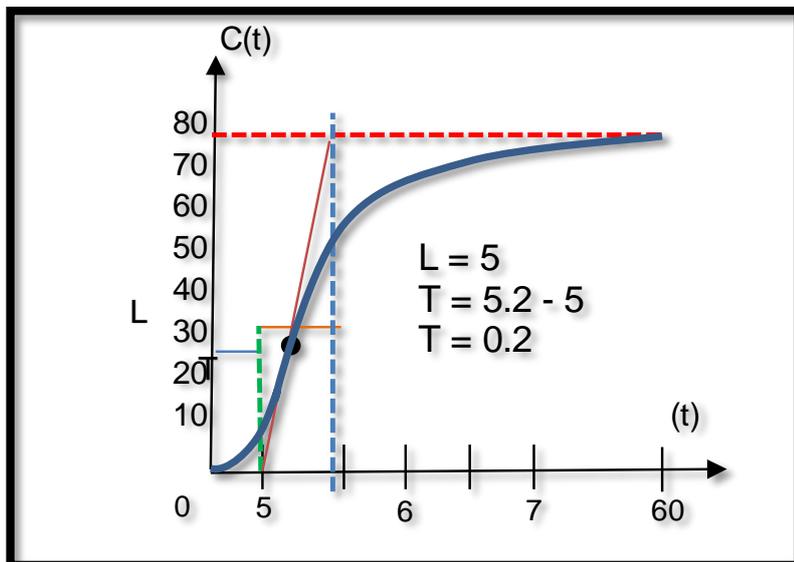


Figura 25 Modulación de la curva de control de tonelaje.

Fuente: Propia.

Set point (punto fijo) = 78 tn/h alimentación al molino

a. Proceso:

- Ganancia (K) = 0.13
- Tiempo constante (T) = 0.2
- Retardo (L) = 5

b. Controlador:

Ganancia (C) $K_p = 0.37$

Integral (I) $K_i = 0.04$

Derivativo (D) $K_d = 0.92$

La tabla. 9 muestra los parámetros del control de proceso simulados por el controlador PID. Los valores obtenidos son el reflejo de simulación del proceso de alimentación a la molienda.

La figura. 26 muestra el set point configurado en 78tn/h y la tendencia variable de toneladas ingresando al molino (PV, azul), en la figura. 27 la alimentación es regulada automáticamente por el variador de velocidad a 40 Hz.

La salida del controlador de la balanza muestra la señal de color verde corrigiendo el error (señal morado), luego se observó la disminución de las oscilaciones y la estabilidad de la faja alimentadora a los 60 segundos.

Tabla 9: Valores obtenidos de control de tonelaje.

t (seg)	SP	OP	PV	Error	AccumErr
0	78	205.9	0.0	78.0	78.0
10	78	685.8	57.9	20.1	660.6
20	78	623.6	90.0	-12.0	600.7
30	78	585.4	77.2	0.8	557.5
40	78	601.1	77.0	1.0	573.9
50	78	601.2	78.3	-0.3	574.2
60	78	599.6	78.0	0.0	572.5

Fuente: Propia.

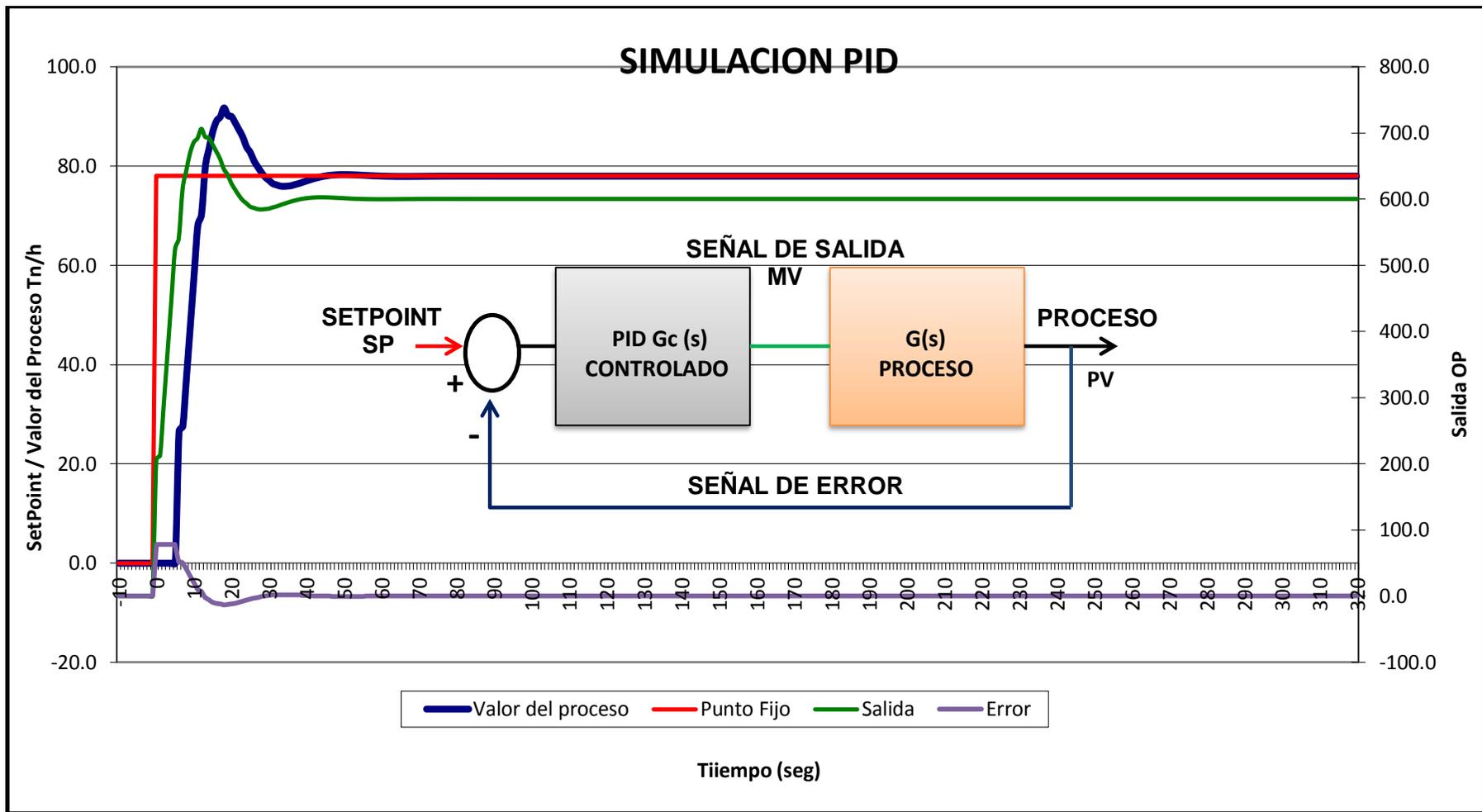


Figura 26: Tendencia de control de tonelaje controlado por un PID.

Fuente: Propia.

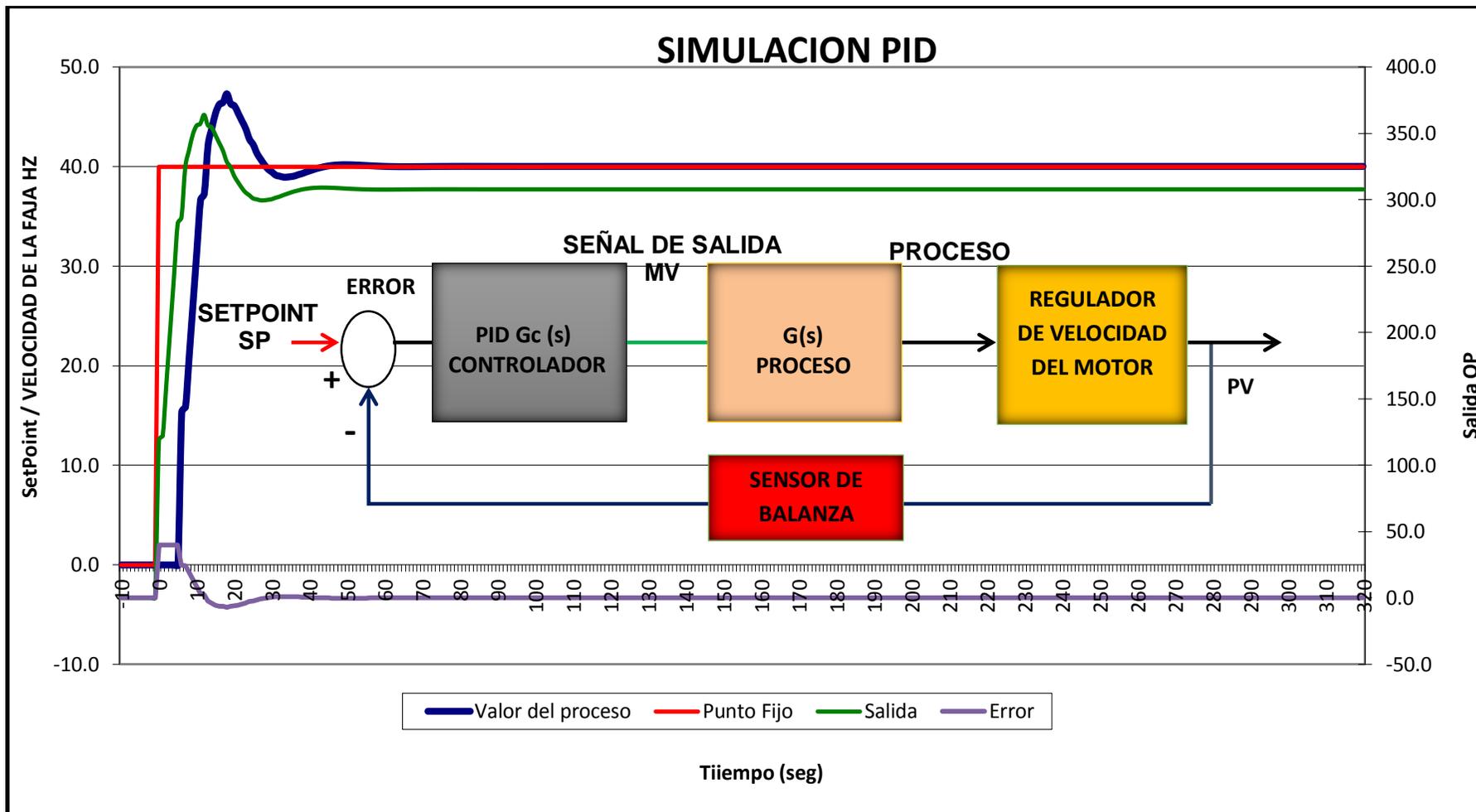


Figura 27: Tendencia control de velocidad faja alimentadora N° 3.

Fuente: Propia.

5.2.2. Control de flujo

La figura 28 muestra el segundo lazo que esta compuesto por el flujómetro magnético de agua FIT-30001 y la válvula de control de ingreso de agua FCV-30001.

El flujo de agua es medido por el flujómetro FIT-30001 y controlado por la válvula FCV-30001.

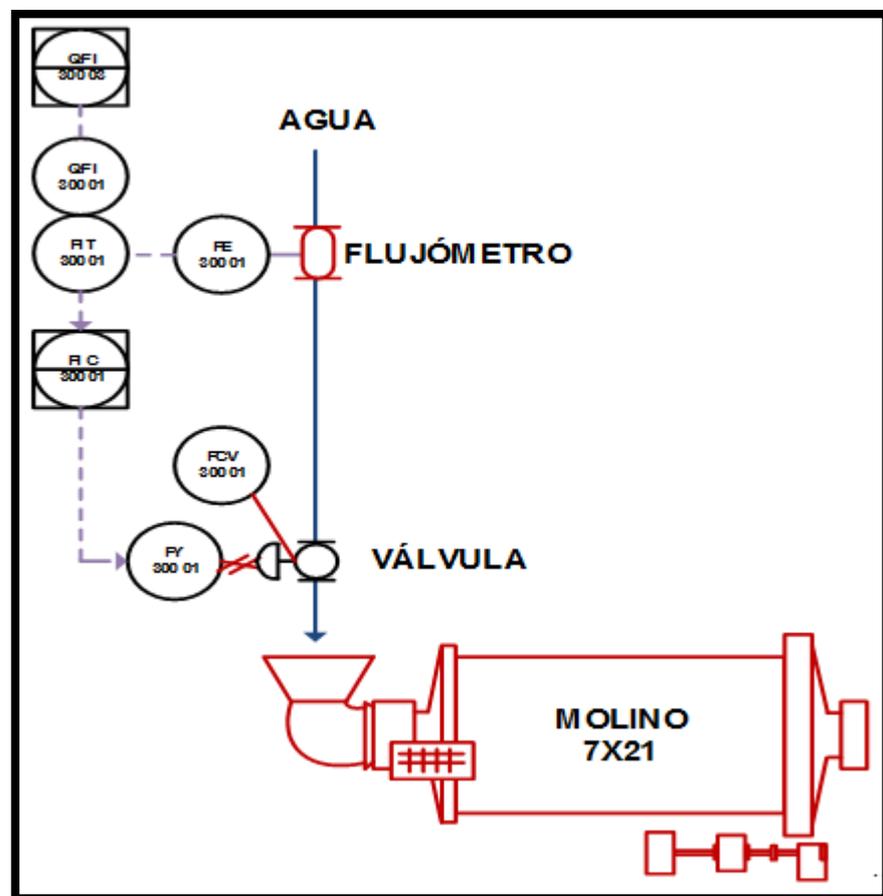


Figura 28: Diagrama de lazo ingreso de agua al molino.

Fuente: Propia.

La sintonización de controlador PID se muestra a continuación:

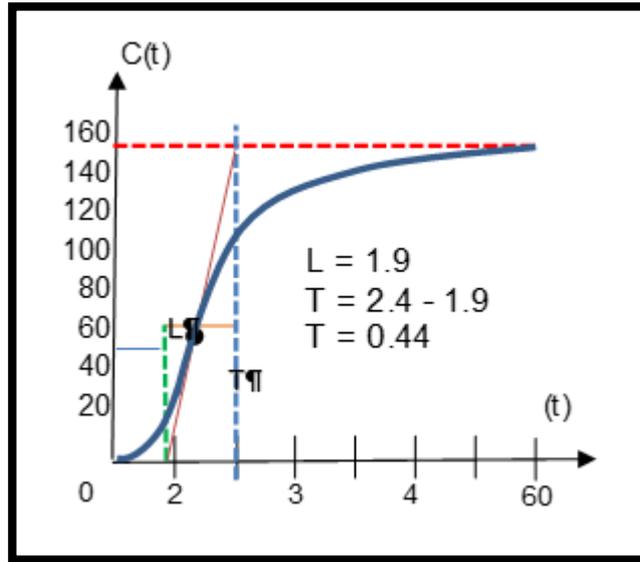


Figura 29: Modulación de la curva de control de flujo.

Fuente: Propia.

Set point (punto fijo) = 156 m³/h

a. Proceso:

- Ganancia (K) = 0.16
- Tiempo constante (T) = 0.44
- Retardo (L) = 1.9

b. Controlador:

- Ganancia (C) $k_p = 1.74$
- Integral (I) $k_i = 0.46$
- Derivativo (D) $k_d = 1.65$

La tabla 10 muestra los parámetros del control de proceso simulados por el controlador PID. Los valores obtenidos son el resultado del proceso

de control entre el controlador del flujómetro y la actuación de la válvula de agua.

Estos resultados se produjeron desde la inserción del set point 156 m³/h en el controlador PID, se observa en el transcurso de tiempo de 0 a 60 seg, la variación de flujo de agua (variable del proceso PV), por medio de la retroalimentación del lazo y el sensor del flujómetro se logra captar la señal de error, esta señal es transmitido por el transmisor del flujómetro hacia el controlador el cual recalcula y emite una nueva señal de salida (OP) hacia el actuador (válvula) disminuyendo el error y estabilizando la variable del proceso (flujo de agua) al valor seteado.

La figura. 30 muestra la tendencia del flujo variable (PV). Es el inicio del flujo de agua que ingresa al molino, este flujómetro de control esta seteado en 156 m³/h de flujo de agua.

La figura. 31 muestra la actuación de la válvula de agua (señal azul) por medio de la señal de 4-20 mA recibida del flujómetro de control.

La salida del controlador del flujómetro muestra la señal de color verde corrigiendo el error (señal morado), de esta manera se produce la disminución de las oscilaciones y la estabilidad de la válvula en 11mA.

Tabla 10: Valores obtenidos control flujo.

t (seg)	SP	OP	PV	Error	AccumErr
0	156	686.5	0.0	156.0	156.0
10	156	818.1	133.5	22.5	793.6
20	156	945.8	149.8	6.2	935.9
30	156	969.3	154.6	1.4	965.0
40	156	973.7	155.7	0.3	971.1
50	156	974.7	155.9	0.1	972.5

Fuente: Propia.

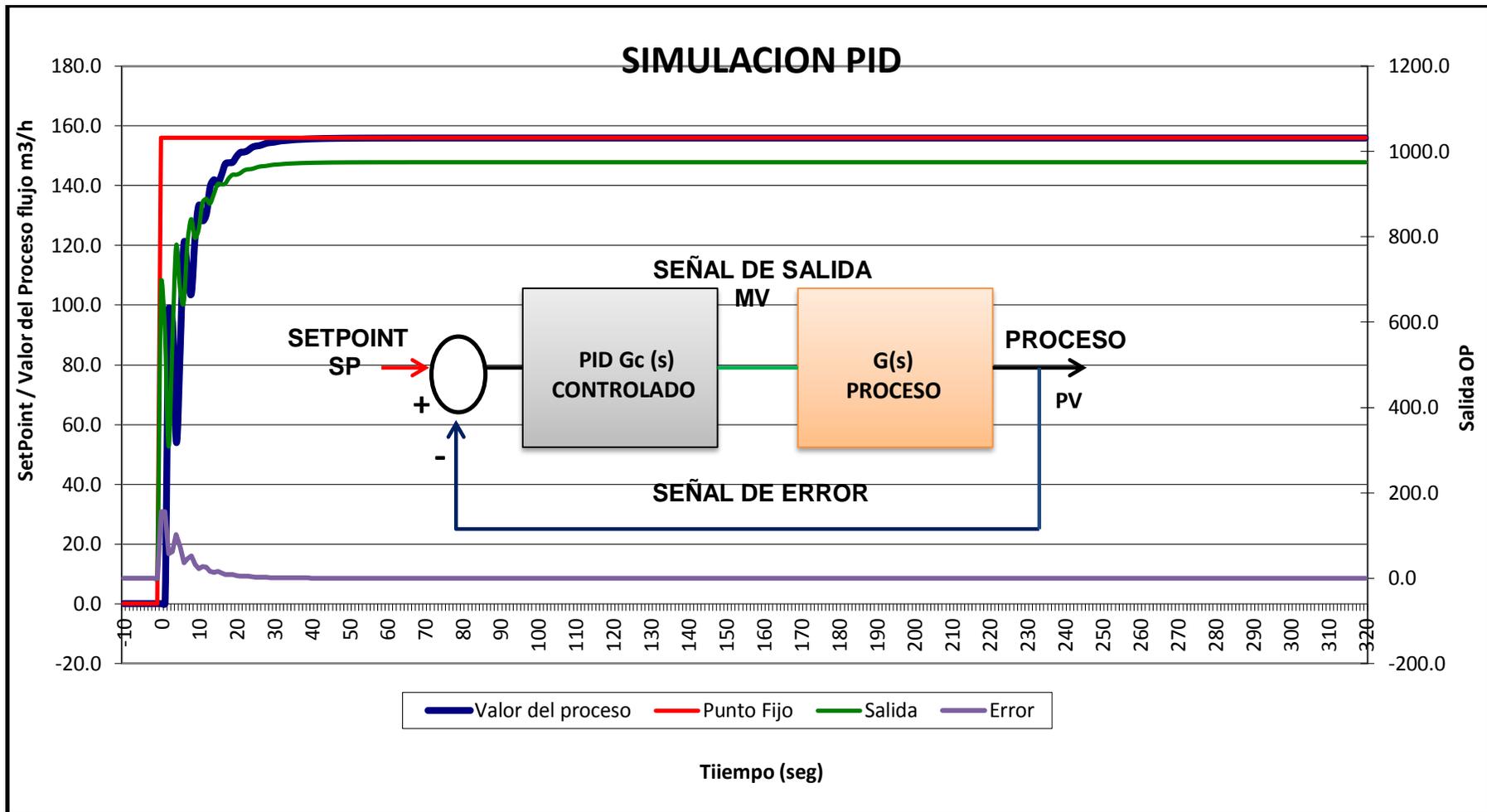


Figura 30: Tendencia control de flujo controlado por un PID.

Fuente: Propia.

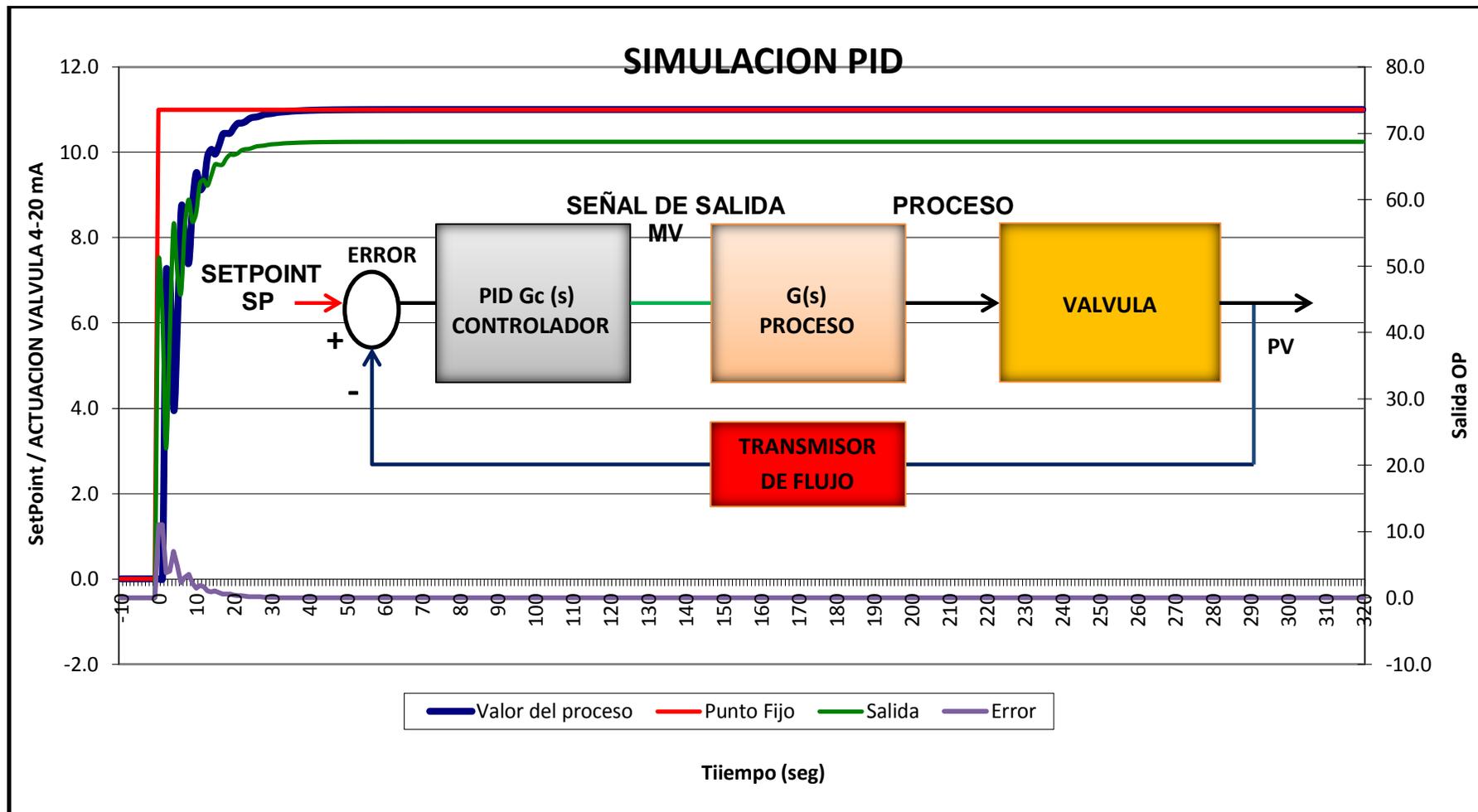


Figura 31: Tendencia control de la válvula de agua.

Fuente: Propia.

5.2.3. Control de Presión.

La figura. 32 muestra El lazo conformado por un sensor de presión en cada línea de salida de las bombas a ciclón PU-3125 y PU-3126 teniendo como elemento final el lazo a los variadores de velocidad de la bombas PU-3125 o PU-3126.

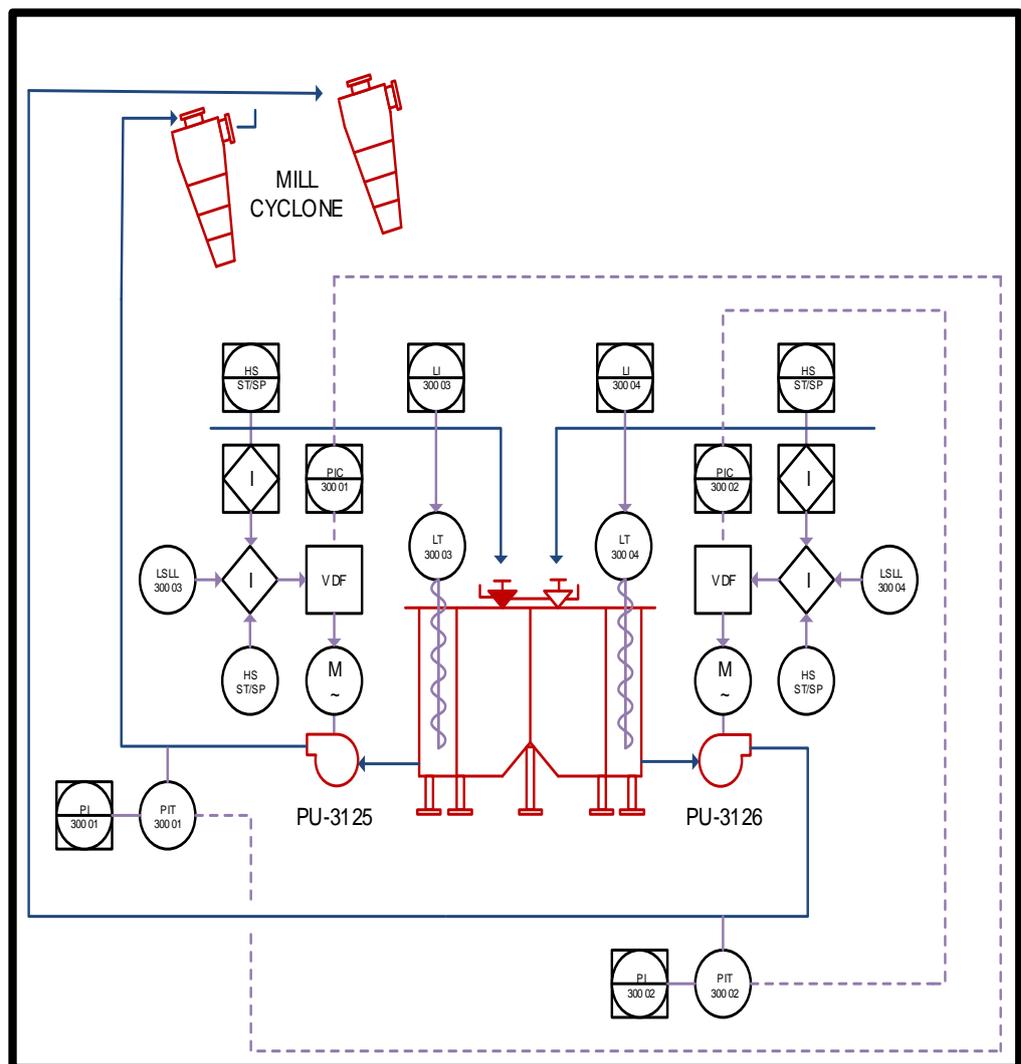


Figura 32: Diagrama de lazo control de presión.

Fuente: Propia.

La sintonización del controlador PID se muestra a continuación:

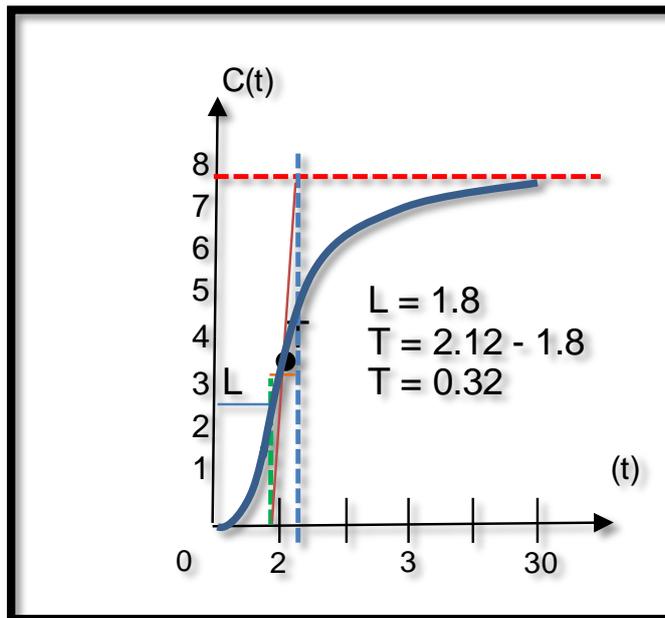


Figura 33: Modulación de la curva de control de presión.

Fuente: Propia.

Set point (punto fijo) = 7.8 Psi

a. Proceso:

Ganancia (K) = 0.16

Tiempo constante (T) = 0.32

Retardo (L) = 1.8

b. Controlador:

Ganancia (C) $k_p = 1.33$

Integral (I) $k_i = 0.37$

Derivativo (D) $k_d = 1.2$

La tabla N° 11 muestra los parámetros de control de proceso simulados por el controlador PID. Los valores obtenidos son el resultado del proceso de control entre la presión y el convertidor de frecuencia.

La figura 34 muestra el controlador de presión seteado (SP) en 7.8 Psi, la tendencia de color azul (PV) indica el inicio de variación de presión. Para su estabilidad el error (señal morado) es recalculado por el controlador PID (OP) hasta reducir a 0. Esto indica que la velocidad de la bomba se ha estabilizado.

La figura 35 muestra la tendencia de regulación de velocidad de la bomba (señal azul), según la presión existente en la tubería hacia los Hidrociclones. La velocidad alcanzada es de 45.8 Hz en un tiempo de 30 seg.

Tabla 11: Valores obtenidos de control de presión.

t (seg)	SP	OP	PV	Error	AccumErr
0	7.8	30.3	0.0	7.8	7.8
10	7.8	42.6	6.6	1.2	38.6
20	7.8	47.6	7.5	0.3	44.6
30	7.8	48.5	7.8	0.0	45.8

Fuente: Propia.

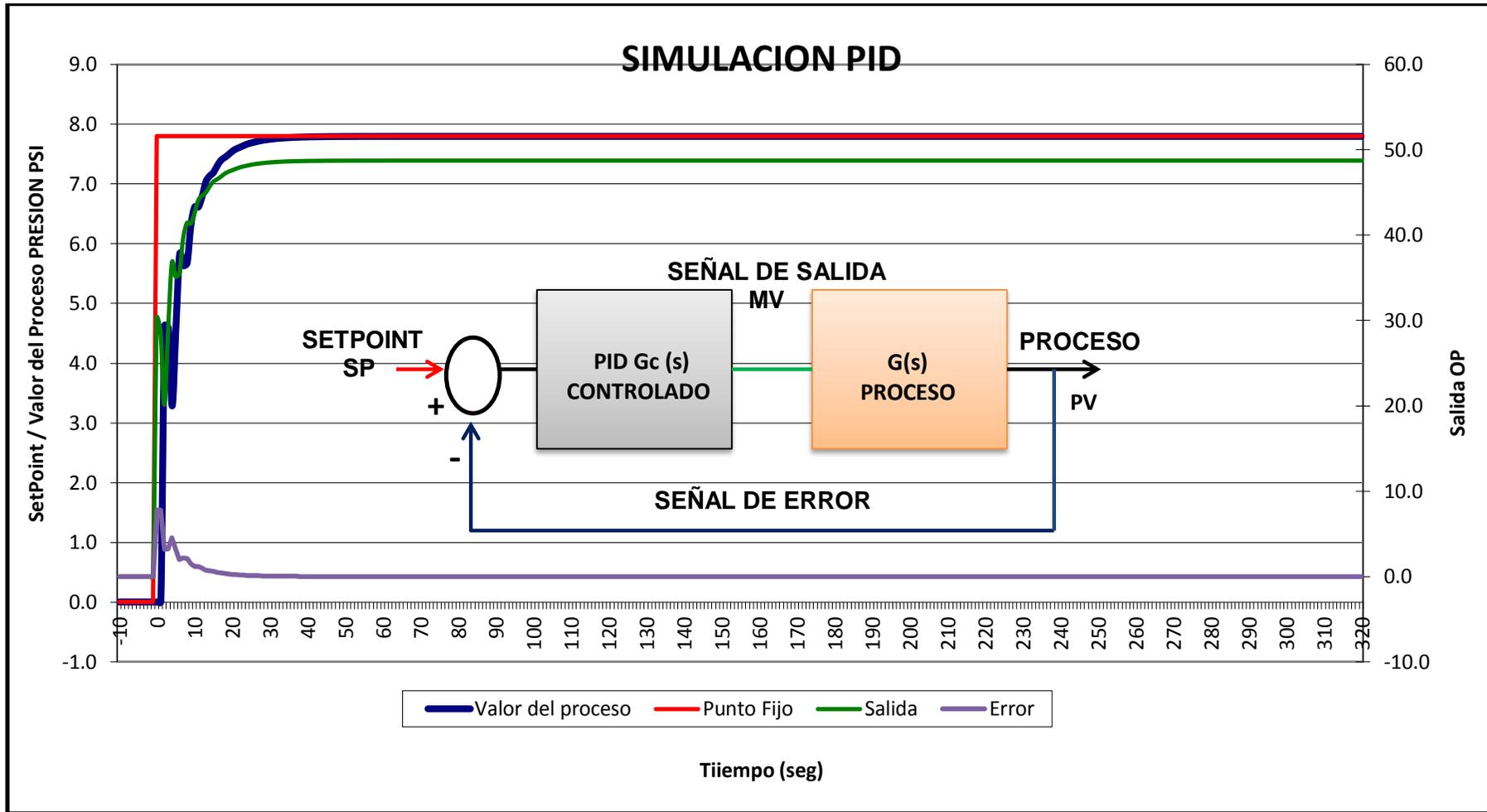


Figura 34: Tendencia control de presión controlado por un PID.

Fuente: Propia.

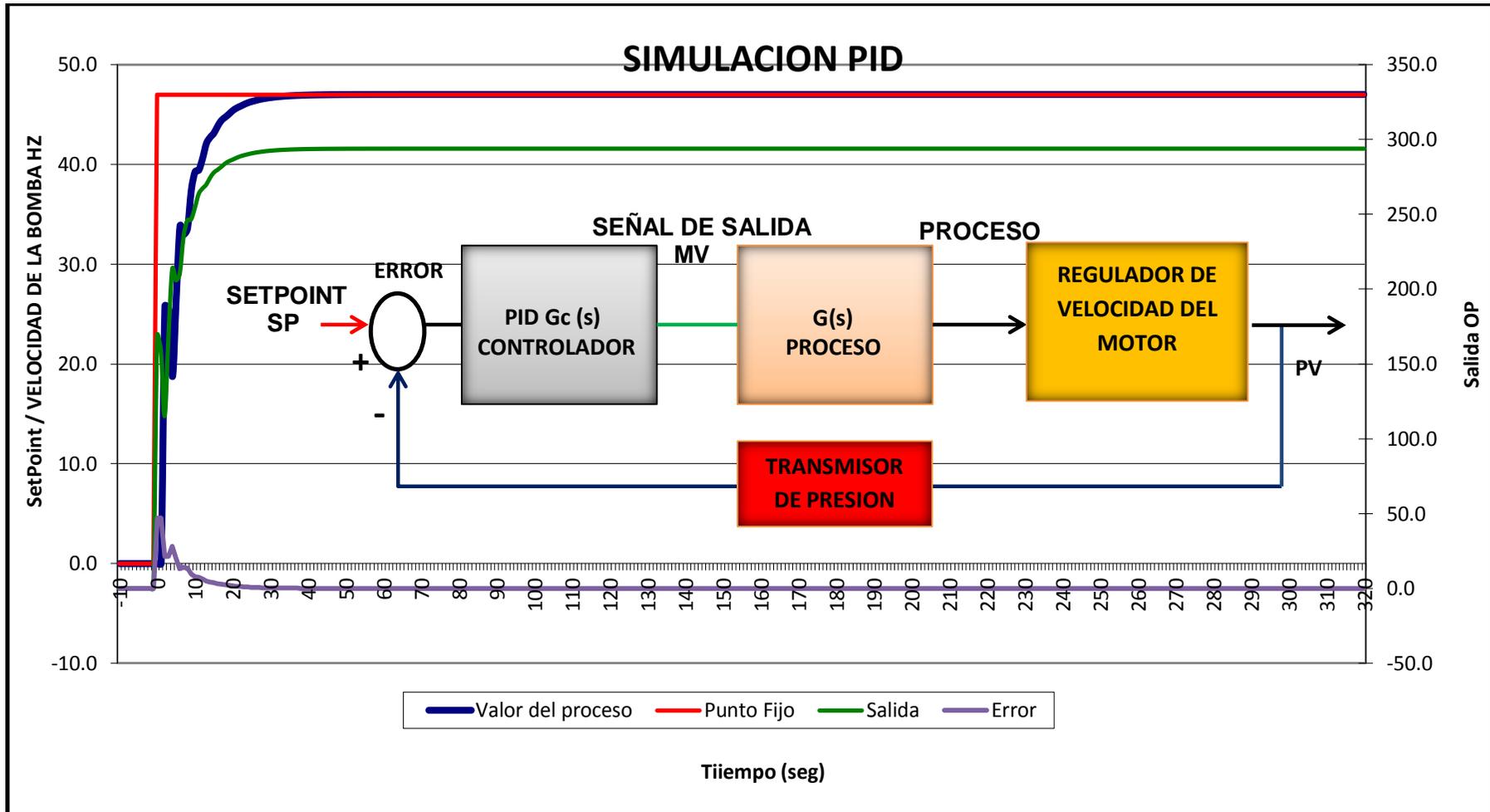


Figura 35: Tendencia control de velocidad de bombas a ciclón A y B.

Fuente: Propia.

5.2.4. Control de Densidad.

La figura 36 muestra el lazo propuesto para el control de densidad, un lazo de control de densidad en cada línea de salida de las bombas de descarga del molino.

El flujo de agua será medido por el flujómetro FIT-3000 y controlado por la válvula FCV-30001.

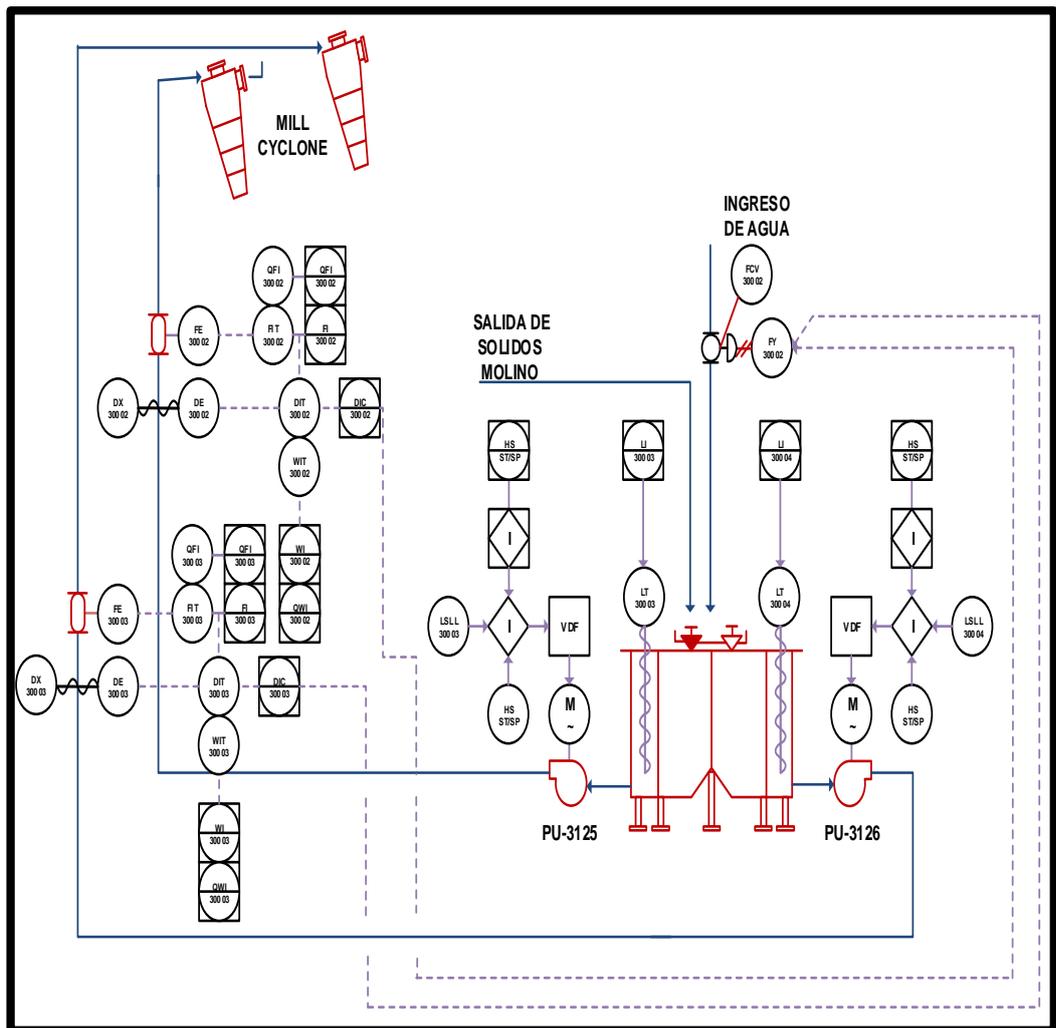


Figura 36: Diagrama de lazo control de densidad.

Fuente: Propia.

La sintonización de controlador PID se muestra a continuación:

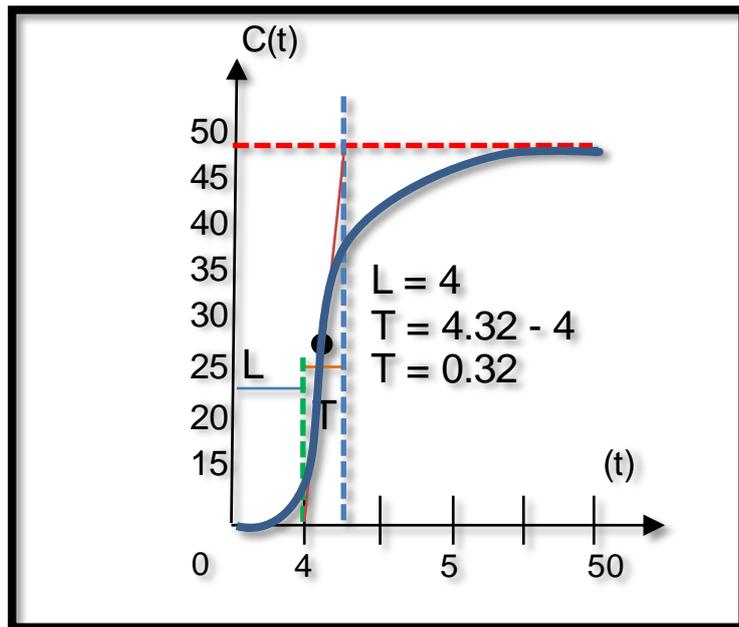


Figura 37: Modulación de la curva de control de densidad.

Fuente: Propia.

Set point (punto fijo) = 1406.1 Kg/m³

a. Proceso:

Ganancia (K) = 0.12

Tiempo constante (T) = 0.22

Retardo (L) = 4

b. Controlador:

Ganancia (C) $k_p = 0.55$

Integral (I) $k_i = 0.07$

Derivativo (D) $k_d = 1.1$

La tabla 12 muestra los parámetros de control de densidad simulados por el controlador PID. Los valores obtenidos son el resultado del proceso de control entre el flujómetro y la respuesta de la válvula de agua.

Estos resultados se inician en el momento de manipular la variable de proceso a 1406.1 Kg/m³ de densidad. Se observa la variación de densidad en el tiempo, reduciendo el error hasta alcanzar la estabilidad del proceso.

La figura 38 muestra la tendencia de flujo variable (PV) el inicio de la señal tipo escalonado evitando el sobre pico de 25% con respecto al set point para la estabilidad de la densidad en el tiempo más corto y evitar daños en la válvula. La figura N° 39 muestra la actuación de la válvula de agua con señal de 4-20 mA recibida del flujómetro de control y el transmisor de densidad, la válvula se estabiliza en 18 mA para obtener la densidad deseada de 1406.1 Kg/m³ a la salida de la molienda.

Tabla 12: Valores obtenidos de control de densidad.

t (seg)	SP	OP	PV	Error	AccumErr
0	1406.1	3740.7	0.0	1406.1	1406.1
10	1406.1	11547.5	965.4	440.7	11322.4
20	1406.1	11946.4	1438.3	-32.2	11944.0
30	1406.1	11720.9	1413.2	-7.1	11706.2
40	1406.1	11712.9	1405.0	1.1	11697.6
50	1406.1	11717.6	1405.9	0.2	11703.0
60	1406.1	11717.6	1406.1	0.0	11703.1

Fuente: Propia.

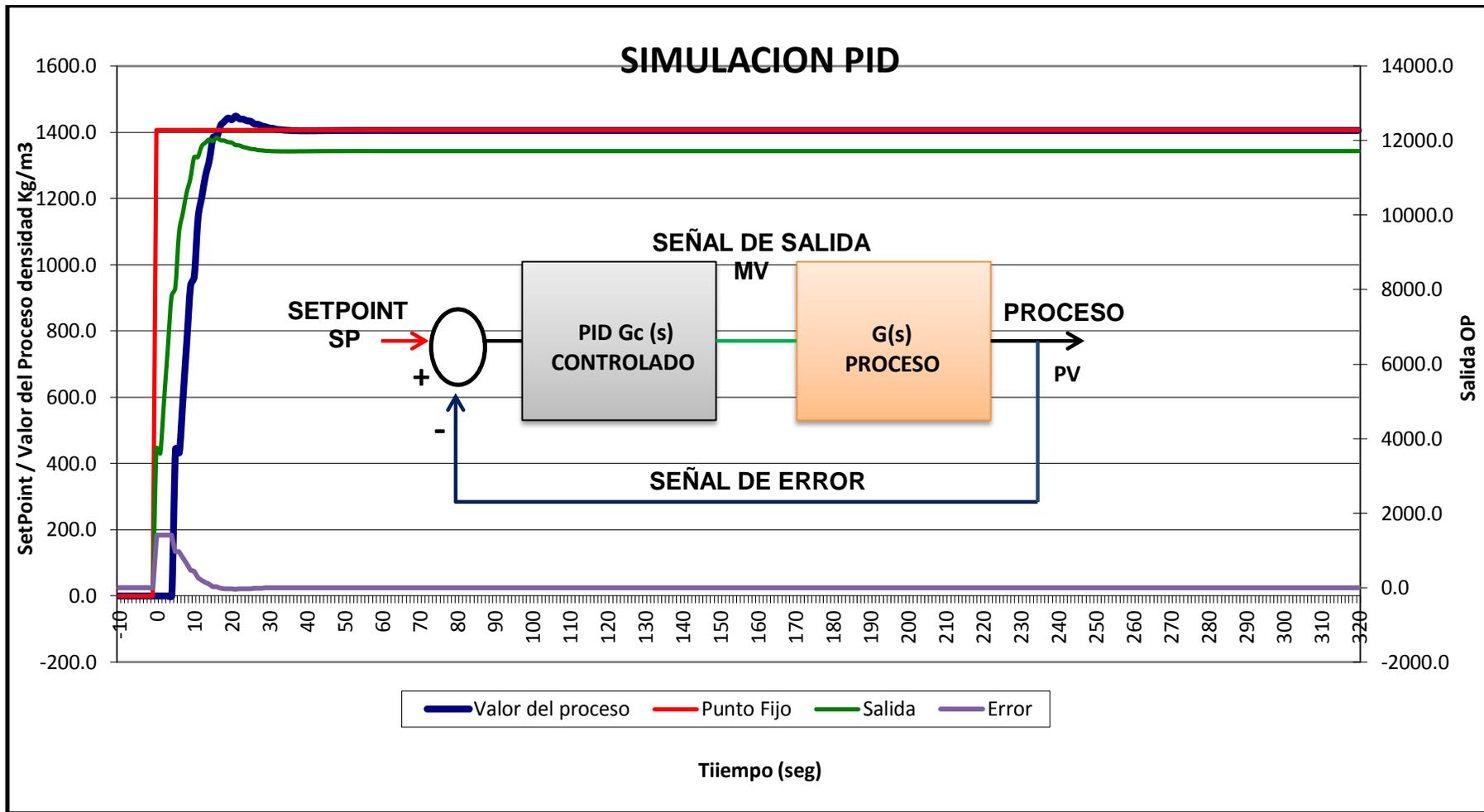


Figura 38: Tendencia de control de densidad controlado por un PID.

Fuente: Propia.

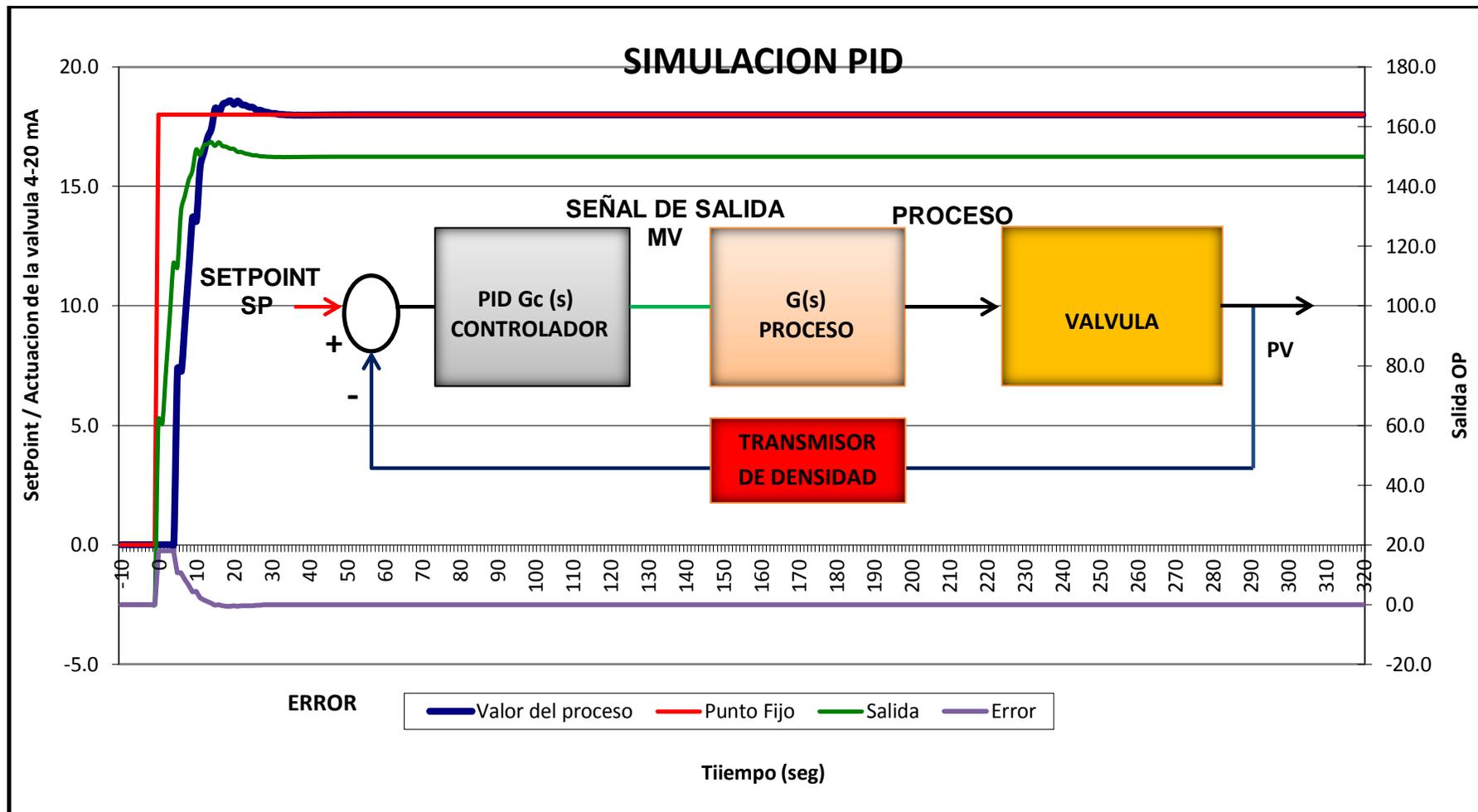


Figura 39: Tendencia control de flujómetro y válvula de agua.

Fuente: Propia.

CAPITULO VI

6. Resultados y discusión

6.1. Diagnóstico de la línea de producción.

6.1.1. Análisis de pérdida de mineral con el control manual.

Se evaluó el registro de las pérdidas de mineral. Luego se calculó la media \bar{X}_{CM} de todas las muestras tomadas, con la finalidad de hallar el total de las pérdidas de mineral.

Ecuación 7: Media de muestras tomadas.

$$\bar{X}_{CM} = \frac{X1 + X2 + X3 + \dots + Xn}{N}$$

$$\bar{X}_{CM} = 160.9 \text{ Kg/m}^3$$

Pérdida de mineral en 10 minutos por día

$$10\text{min (0.166667hr)} \text{ ---- } 160.9 \text{ Kg/m}^3$$

$$P.M_{CM} = ((1hr * 160.9)/0.166667hr))$$

$$P.M_{CM} = 1hr = 965 \text{ Kg/m}^3$$

$$P.M_{CM} = ((24hr * 965)/1hr))$$

$$P.M_{CM} = 24hr = 23\ 160 \text{ Kg/m}^3$$

$$P.M_{CM} = ((648hr * 23\ 160)/24hr))$$

$$P.M_{CM} = 648hr (27 \text{ días}) = 625\ 320 \text{ Kg/m}^3$$

6.2. Prueba de hipótesis General:

Para realizar la prueba de las hipótesis de la investigación se efectuó mediante la prueba T de muestras independientes.

a. Hipótesis Nula

$$(H_0^C) = \bar{X}_{SCA} = \bar{X}_{CM}$$

La media de las pérdidas de mineral del proceso de molienda utilizando un sistema de control automático es igual a la media de las pérdidas de mineral del proceso de molienda utilizando un control manual en la planta Outstanding Mining Perú en la Provincia de Matucana, distrito de Chacahuaro en el año 2015.

b. Hipótesis Alterna

$$(H_1^C) = \bar{X}_{SCA} < \bar{X}_{CM}$$

La media de las pérdidas de mineral del proceso de molienda utilizando un sistema de control automático es menor a la media de las pérdidas de mineral del proceso de molienda utilizando un control manual en la planta Outstanding Mining Perú en la Provincia de Matucana, distrito de Chacahuaro en el año 2015.

c. Nivel de significancia:

Será el de $\alpha = 0,05$.

d. Criterio:

Rechazar la hipótesis nula si $p < 0,05$.

Aceptar la hipótesis alterna si $p > 0,05$.

e. Cálculo del estadístico T para muestra independiente:

Tabla 13: Estadísticas de grupo.

	Grupo	N°	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Salida del molino	Control manual	27	160,8630	38,01960	7,31688
	Control automático	27	32,1726	7,60392	1,46338

Fuente Propia

Tabla 14: Estadístico de prueba de muestras independientes.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas						Prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Salida del molino	Se asumen varianzas iguales	29,94	,000	17,247	52	,000	128,69037	7,46178	113,71722	143,66352
	No se asumen varianzas iguales			17,247	28,077	,000	128,69037	7,46178	113,40749	143,97325

Fuente Propia

f. Decisión:

Puesto que la significación asintótica es menor que 0,05 ($p < 0,05$); se acepta la H_a , y se rechaza la H_0 .

g. Conclusión:

Existe diferencias significativas entre los grupos de comparación, por lo que concluye que el sistema de control automático influye significativamente en la reducción de pérdidas de mineral en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú en la Provincia de Matucana, Distrito de Chacahuaro en el año 2015 ($p < 0.05$).

6.2.1. Prueba de hipótesis específica (a).

Para realizar la prueba de hipótesis específica se efectuó el cálculo de pérdidas de mineral en 27 días de acuerdo a los datos obtenidos de la tabla N° 4.

a. Hipótesis Nula

$$\left(H_0^C \right) = P.M_{CM} = P.M_{CA}$$

La cantidad de pérdidas de mineral en el proceso de molienda utilizando el control manual es igual a las pérdidas de mineral utilizando un sistema de control automático en la planta Outstanding Mining Perú.

b. Hipótesis Alternativa

$$(H_1^c) = P.M_{CM} > P.M_{CA}$$

La cantidad de pérdidas de mineral en el proceso de molienda utilizando el control manual es mayor a las pérdidas de mineral utilizando un sistema de control automático en la planta Outstanding Mining Perú.

Cantidad total de pérdidas de mineral

Tabla 15: Perdida de mineral control manual.

Grupo	Salida del molino	Media	10 min.	1h	24h	27 días
Control manual	Pérdidas de mineral Kg/m3	160.9	160.9	965	23 160	625 321

Fuente Propia

Tabla 16: Perdida de mineral sistema control automático.

Grupo	Salida del molino	N° de Simulaciones	Media	Resultado de Simulación
Control automático	Pérdidas de mineral Kg/m3	27	32.2	868.7

Fuente Propia

c. Decisión:

Puesto que

$$P.M_{CM(625\ 321\frac{Kg}{m^3})} > P.M_{SCA(868.7\frac{Kg}{m^3})}$$

Se acepta la H_a , y se rechaza la H_0 .

d. Conclusión:

Existe diferencias significativas entre los grupos de comparación, por lo que concluye que las pérdidas de mineral con el control manual son mayor a las pérdidas de mineral con el sistema de control automático en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú

$$P.M_{CM(625\ 321\frac{Kg}{m^3})} > P.M_{SCA(868.7\frac{Kg}{m^3})}$$

6.2.2. Prueba de hipótesis específica (b).

Para realizar la prueba de hipótesis específica se analizó la fig. N°40 para identificar la cantidad de reducción de pérdidas de mineral.

a. Hipótesis Nula

$$\left(H_0^C \right) = P.M_{SCA} > P.M_{CA}$$

Las pérdidas de mineral en el proceso de molienda utilizando el sistema de control automático son mayor a las pérdidas de mineral utilizando el control manual en la planta Outstanding Mining Perú.

b. Hipótesis Alterna

$$\left(H_1^C \right) = P.M_{SCA} < P.M_{CA}$$

Las pérdidas de mineral en el proceso de molienda utilizando el sistema de control automático son menor a las pérdidas de

mineral utilizando el control manual en la planta Outstanding Mining Perú.

La Simulación de pérdidas de mineral

c. Decisión:

Puesto que

$$P.M_{SCA}\left(868.7\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right) < P.M_{CM}\left(625\ 321\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$$

Se acepta la Ha, y se rechaza la H0.

d. Conclusión:

Concluye que las pérdidas de mineral utilizando el sistema de control automático son menor a las pérdidas de mineral utilizando el control manual en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú.

$$P.M_{SCA}\left(868.7\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right) < P.M_{CM}(625\ 3201)$$

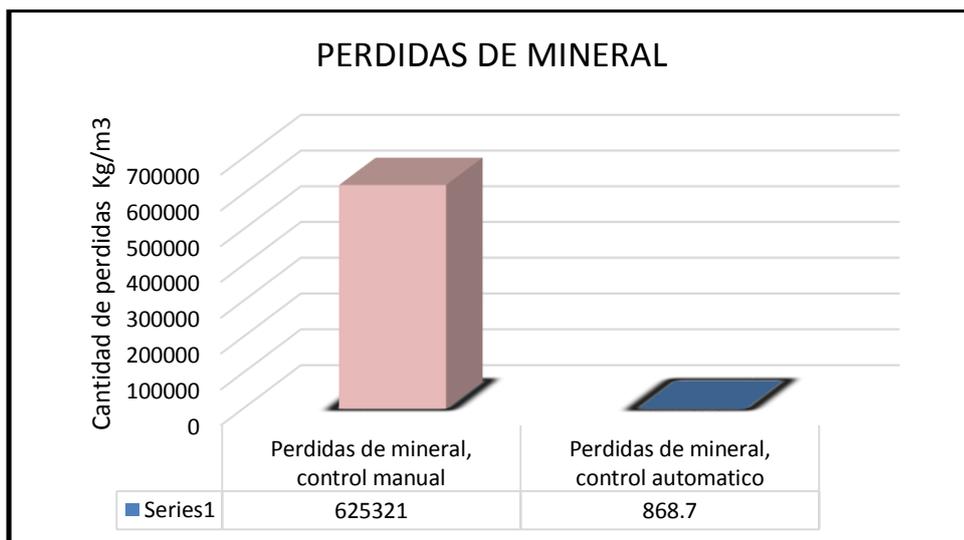


Figura 40: Perdidas de mineral control manual vs controla automático.

Fuente Propia

6.3. Discusión de resultados.

Balta Perales, Renato y Vásquez Velásquez, Carlos. (1) En su Tesis “Diseño de sistema control automático del proceso de retratamiento del relave en la unidad Minera Orcopampa de la empresa Buenaventura”, el presente estudio de investigación llega a las siguientes conclusiones:

Se realizó el diseño de un sistema de control que cumple con los requerimientos de la planta. Se diseñó la filosofía de control del proceso. Se realizó la selección de instrumentos. Se establecieron estrategias de control para los diferentes lazos.

Por lo tanto los resultados del investigador son semejantes a mi investigación apreciándose que el sistema de control automático es seguro, amigable, confiable en donde el operador realiza las distintas operaciones de manera fácil.

Cervantes García, Jairo. (3) En su Tesis “Diseño e implementación del sistema de control automático para la dosificación de mineral de hierro en el molino de crudo en la sección de materias primas de Cemex Colombia S.A”, en la realización de su proyecto afirma que el diseño e implementación del sistema de control es confiable y así mismo mejorar la calidad e incrementar los volúmenes de producción.

Por lo tanto los resultados del investigador son semejantes a mi investigación apreciándose que el sistema de control automático es confiable y de calidad favoreciendo a la producción de la empresa minera y al personal de operaciones.

Cuadros Rojas, Alejandro. (2) En su Tesis. “Reducción de las Perdidas de cobre en las escorias del proceso ISASMELT de la fundición de Ilo de spcc”, realizó una investigación llegando a las siguientes conclusiones:

Atraves de la realización de pruebas metalúrgicas en el área de molienda, se obtendrá beneficios económicos. El aporte tecnológico que contribuirá en los valores obtenidos.

Las pérdidas de cobre pueden verse afectados al no existir un alto control de separación de escoria con mata.

Por lo tanto los resultados del investigador son semejantes a mi investigación apreciándose que el aporte tecnológico, contribuirá a mejorar la concentración del mineral, obteniendo mejores rendimientos técnicos y económicos.

CAPITULO VII

7. Presupuesto

7.1. Registro y procura de equipos del proceso de molienda con el sistema automático.

Se realizó la cotización de equipos y materiales que se requieren para la implementación del sistema de control automático. En base a:

- ANEXO C. Listado de Motores y Accionamiento.
- ANEXO D. Listado de Entradas / Salidas.

Se obtuvo la cotización y costo de equipos y materiales.

- ANEXO E. Listado y procura de equipos.

7.2. Listado de Equipos y Accionamientos.

El listado de equipos y accionamientos:

- Listado de Motores y Accionamiento
- Listado de Entradas / Salidas
- Listado de equipos Procura de equipos.

CONCLUSIONES

1. Existe diferencias significativas entre los grupos de comparación.

La media muestral: $\bar{X}_{CM} 160,8630 \frac{Kg}{m^3} > \bar{X}_{SCA} 32,1726 \frac{Kg}{m^3}$.

Desviacion estándar: $\sigma_{CM} 38,01960 \frac{Kg}{m^3} > \sigma_{SCA} 7,60392 \frac{Kg}{m^3}$.

Desv. Error: $e_{CM} 7,31688 \frac{Kg}{m^3} > e_{SCA} 1,46338 \frac{Kg}{m^3}$. Por lo que concluye que el sistema de control automático influye significativamente en la reducción de pérdidas de mineral en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú en la Provincia de Matucana, Distrito de Chacahuaro en el año 2015, contrastada mediante la prueba T para muestra independientes ($p < 0.05$).

2. Existe diferencias significativas entre los grupos de comparación, por lo que concluye que las pérdidas de mineral con el control manual es mayor a las pérdidas de mineral con el sistema de control automático en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú $P.M_{CM(625321 \frac{Kg}{m^3})} > P.M_{SCA(868.7 \frac{Kg}{m^3})}$.
3. Las pérdidas de mineral con el sistema de control automático es menor a las pérdidas de mineral con el control manual en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú $P.M_{SCA(868.7 \frac{Kg}{m^3})} < P.M_{CM(625321 \frac{Kg}{m^3})}$.
4. El desarrollo de la tecnología en estos últimos tiempos nos permite que este sistema de control automático nos facilite el proceso de las operaciones, minimizando las pérdidas de mineral e incrementando los ingresos del proceso de molienda.
5. Como se pudo observar en el desarrollo de esta investigación el control manual que se realizo en el proceso de molienda es deficiente, entonces para el sistema de control automático hay mayores probabilidades de llegar al objetivo, de reducir las pérdidas de mineral.

6. El sistema de control automático propuesto, facilitara al personal competente de operaciones, electricista e instrumentista a mantener las variables del proceso confiables y aceptables.

RECOMENDACIONES

1. Este sistema de control automático es una alternativa de solución para la planta Outstanding Mining Perú y para todas aquellas empresas que tienen la necesidad de mejorar su rendimiento. Reduciendo sus pérdidas y mejorando su eficiencia y calidad.
2. Es importante realizar la comparación y el análisis entre dos grupos para identificar con facilidad las causas y los efectos que tuvo el control manual con respecto al sistema de control automático.
3. Es importante capacitar al personal que estara a cargo del proceso de control automático de esta forma se lograra la mejora en el control del proceso, para la obtención de resultados de calidad.
4. El personal electricista e instrumentista debe ser competente en el desempeño de sus actividades encomendadas, elaboración de reportes con conocimientos en lectura de planos, calibración de procesos, configuración de variadores, soft starter, instalaciones y manejar comunicación fluida.
5. Los operadores a cargo del sistema de control deben de conocer el proceso de la planta, como principal paso es hacer uso de la filosofía de control para así realizar un buen manejo y control de las variables del proceso.
6. Para el oportuno desempeño y control de los equipos se debe contar con personal electricista e instrumentista calificado que de ellos depende que la calibración y configuración de los equipos se mantengan estables y confiables.
7. El personal de operaciones y electricista e instrumentista deben estar en constante comunicación por si en algún momento se detectan o producen fallas en el proceso.
8. Realizar recopilación de las variables de proceso y comparar con datos históricos.

9. Realizar inspección de instrumentos de campo periódicamente cada tres meses, validar la calibración de estos según resultados de la variable de proceso.
10. Verificar el estado de las instalaciones, cableado de comunicación, control y de fuerza cada 6 meses.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Balta P y Vásquez V. "Diseño de sistema control automático del proceso de retratamiento del relave en la unidad Minera Orcopampa de la empresa Buenaventura"; Peru: Universidad Privada Antenor Orrego; 2011.
2. Cuadros R. "Reducción de las Perdidas de cobre en las escorias del proceso ISASMELT de la fundición de Ilo de spcc"; Peru: Universidad Nacional Ingeniería; 2010.
3. Cervantes, G. "Diseño e implementación del sistema de control automático para la dosificación de mineral de hierro en el molino de crudo en la sección de materias primas de Cemex Colombia S.A"; Colombia: Universidad industrial de Santander; 2006.
4. Cisneros, V. "Metodología para la reducción de pérdidas en la etapa de ejecución de un proyecto de construcción"; Distrito federal: Universidad Autónoma de México 2011.
5. Iñiguez, M (2011). Automatización de Procesos. Recuperado de: https://es.over-blog.com/Que_es_la_automatizacion_de_procesos-1228321767-art127041.html
6. Gonzales D (2004). Automatización de procesos industriales [Curso 1º]. España: Dpto. I.S.A EUI - UPV/EHU - Vitoria-Gasteiz.
7. Vilorio, R (2007). Automatismos y cuadros eléctricos. [Libro en línea]. Consultado el 12 de Julio del 2015 de <https://books.google.com.pe/books?id=xsdKKqme-CgC&pg=PA14&dq=logica+cableada+vs+logica+programada&hl=es&sa=X&ved=0CCYQ6AEwAmoVChMI47Xfk5aixwIVIsNCh1DLArP#v=onepage&q=logica%20cableada%20vs%20logica%20programada&f=false>
8. Creus, S (1997). Instrumentación Industrial. [Sexta edición]. Barcelona, España: Editorial Alfaomega y Marcombo.
9. Creus, S (2010). Instrumentación Industrial. [Octava edición]. Barcelona, España: Editorial Alfaomega y Marcombo.

10. Valentín, L (2008). Introducción a los Circuitos Eléctricos Industriales. [Libro en línea]. Consultado 14 de Julio del 2015 de https://books.google.com.pe/books?id=pGWWPCE4tHsC&printsec=frontcover&dq=circuitos++industriales+valentin+labarta&hl=es&sa=X&ved=0CBwQ6AEwAGoVChMI7te1i7_bxwIVxMuACh1KYAFK#v=onepage&q=circuitos%20%20industriales%20valentin%20labarta&f=false
11. Valentín, L (2012). Automatismos Industriales. [Libro en línea]. Consultado 15 de Julio de: <https://books.google.com.pe/books?id=bBcRU7sR3J8C&printsec=frontcover&dq=automatismos+industriales+valentin+labarta&hl=es&sa=X&ved=0CCoQ6AEwAGoVChMIp8W-4LzbxwIVQY0NCh1iFAGQ#v=onepage&q=automatismos%20industriales%20valentin%20labarta&f=false>
12. ABB, (2013). Arrancadores suaves. Recuperado de: <https://library.e.abb.com/public/71098f33c3f41d0cc1256d89003dff30/1SFC132003M0701.pdf>
13. ABB, (2013). Variadores de Frecuencia. Recuperado de: https://library.e.abb.com/public/6729b85ae788c3cbc1257d56002a939b/ES_ACS550-01_UM_H_A4_screen.pdf.
14. Carrillo, de A (2011). Técnicas e Instrumentos de recolección de datos. Recuperado de: <http://es.slideshare.net/nelsycarrillo/tcnica-de-observacin>
15. ABB, (2016). Eficiencia Energética – El motivo.
16. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/manual-molienda-clasificacion-minerales/manual-molienda-clasificacion-minerales.shtml>

ANEXOS

Matriz de consistencia.

Tabla 17: Matriz de consistencia.

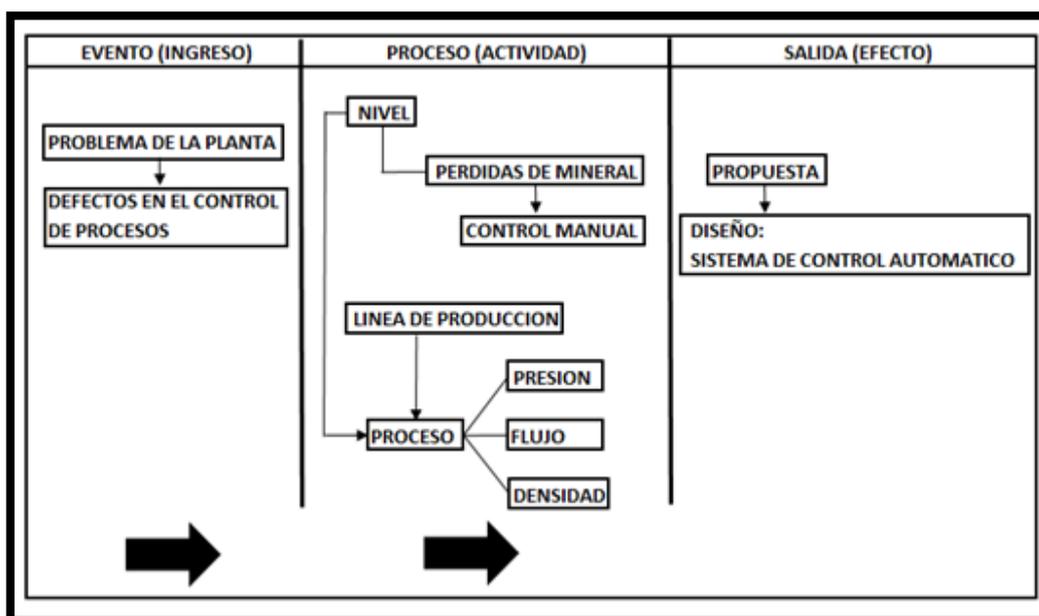
FORMULACION DE PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	SISTEMA DE VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>GENERAL: ¿De qué manera influye el sistema de control automático para la reducción de pérdidas de mineral en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú en la Provincia de Matucana, Distrito de Chacahuaro en el año 2015?</p>	<p>GENERAL: Determinar la influencia del sistema de control automático para la reducción de pérdidas de mineral en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú en la Provincia de Matucana, Distrito de Chacahuaro en el año 2015.</p>	<p>GENERAL: Un sistema de control automático influye significativamente en la reducción de pérdidas de mineral en el proceso de molienda de la planta Outstanding Mining Perú en la Provincia de Matucana, Distrito de Chacahuaro en el año 2015.</p>	<p>Variable independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de control automático <p>Variable dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas de mineral 	<p>METODO DE LA INVESTIGACION Método cuantitativo Método analítico</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN Investigación explicativa.</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN Investigación es experimental</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Experimental,</p> <p>POBLACIÓN 30 días de evaluación y análisis de datos</p> <p>MUESTRA 27 días de pérdidas de mineral</p> <p>TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN Observación directa, Medición.</p> <p>INSTRUMENTOS Balanza Mercy</p>

ANEXO

ANEXO A. Ubicación de la Planta Minera Outstanding Mining Perú.



ANEXO B. Esquema grafico del modelo teórico de investigación.



ANEXO C. Listado de Motores y Accionamiento.

TAG DCS	TAG MOTOR	SERVICIO	ACCIONAMIENTO	COMUNICACIÓN	ESTADO
CV-3106	CV-3106	Motor faja alimentadora tq de finos n° 1	VDF	PROFIBUS DP	Existente
CV-3111	CV-3111	Motor faja alimentadora molino n° 3	VDF	PROFIBUS DP	Existente
PU-3125	PU-3125	Motor bomba alimentadora ciclón A	VDF	PROFIBUS DP	Existente
PU-3126	PU-3126	Motor bomba alimentadora ciclón B	VDF	PROFIBUS DP	Existente
PU-3105	PU-3105	Motor bomba de finos	Directo	---	Existente
M-3113	M-3113	Motor agitador tanque de finos	Directo	---	Existente
M-3116	M-3116	Motor tanque acondicionador n°1	Directo	---	Existente
M-3117	M-3117	Motor tanque acondicionador n°2	Directo	---	Existente
M-3118	M-3118	Motor magneto n°1	Directo	---	Existente
M-3119	M-3119	Motor magneto n°2	Directo	---	Existente
M-3120	M-3120	Motor magneto n°3	Directo	---	Existente
PU-3123	PU-3123	Motor bomba sumidero	Directo	---	Existente
M-3114	M-3114	Motor compresora aire molino	Directo	---	Existente
M-3140	M-3140	Motor molino primario 7x21	Arranque suave	PROFIBUS DP	Existente
M-3115	M-3115	Motor bomba de lubricación - molino	Directo	---	Existente
M-3143	M-3143	Motor carbones molino	Directo	---	Existente
M-3144	M-3144	Motor radiador	Directo	---	Existente

ANEXO D. Listado de Entradas / Salidas.

TAG DCS	TAG EQUIPO	SERVICIO	TIPO I/O	COMUNICACIÓN
CV-3106-ST	CV-3106	Arranque motor faja alimentadora 1 CV-3106	DO	BY PROFIBUS
CV-3106-SP	CV-3106	Parada motor faja alimentadora 1 CV-3111	DO	BY PROFIBUS
CV-3106-RE	CV-3106	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	BY PROFIBUS
CV-3106-RS	CV-3106	Confirmación de motor funcionando faja alimentadora 1 CV-3111	DI	BY PROFIBUS
CV-3106-PD	CV-3106	Enclavamiento secuencial faja alimentadora 1 CV-3111	LOGICO	-
CV-3106-FL	CV-3106	Falla faja alimentadora 1 CV-3111	DI	BY PROFIBUS
CV-3106-PE	CV-3106	Parada de emergencia faja alimentadora 1 CV-3111	DI	-
CV-3106-VREF	CV-3106	Velocidad de referencia variador faja alimentadora 1 CV-3111	AO	BY PROFIBUS
CV-3106-VACT	CV-3106	Velocidad actual variador faja alimentadora 1 CV-3106	AI	BY PROFIBUS
CV-3111-ST	CV-3111	Arranque motor faja alimentadora 3 CV-3111	DO	BY PROFIBUS
CV-3111-SP	CV-3111	Parada motor faja alimentadora 3 CV-3111	DO	BY PROFIBUS
CV-3111-RE	CV-3111	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	BY PROFIBUS
CV-3111-RS	CV-3111	Confirmación de motor funcionando faja alimentadora 3 CV-3111	DI	BY PROFIBUS

TAG DCS	TAG EQUIPO	SERVICIO	TIPO I/O	COMUNICACIÓN
CV-3111-PD	CV-3111	Enclavamiento secuencial faja alimentadora 3 CV-3111	LOGICO	-
CV-3111-FL	CV-3111	Falla faja alimentadora 3 CV-3111	DI	BY PROFIBUS
CV-3111-PE	CV-3111	Parada de emergencia faja alimentadora 3 CV-3111	DI	-
CV-3111-VREF	CV-3111	Velocidad de referencia variador faja alimentadora 3 CV-3111	AO	BY PROFIBUS
CV-3111-VACT	CV-3111	Velocidad actual variador faja alimentadora 3 CV-3111	AI	BY PROFIBUS
PU-3125-ST	PU-3125	Arranque motor bomba alimentadora ciclón A PU-3125	DO	BY PROFIBUS
PU-3125-SP	PU-3125	Parada motor bomba alimentadora ciclón A PU-3125	DO	BY PROFIBUS
PU-3125-RE	PU-3125	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	BY PROFIBUS
PU-3125-RS	PU-3125	Confirmación de motor funcionando bomba alimentadora ciclón A PU-3125	DI	BY PROFIBUS
PU-3125-PD	PU-3125	Enclavamiento secuencial bomba alimentadora ciclón A PU-3125	LOGICO	-
PU-3125-FL	PU-3125	Falla bomba alimentadora ciclón A PU-3125	DI	BY PROFIBUS
PU-3125-PE	PU-3125	Parada de emergencia bomba alimentadora ciclón A PU-3125	DI	-

TAG DCS	TAG EQUIPO	SERVICIO	TIPO I/O	COMUNICACIÓN
PU-3125-VREF	PU-3125	Velocidad de referencia variador bomba alimentadora ciclón A PU-3125	AO	BY PROFIBUS
PU-3125-VACT	PU-3125	Velocidad actual variador bomba alimentadora ciclón A PU-3125	AI	BY PROFIBUS
PU-3126-ST	PU-3126	Arranque motor bomba alimentadora ciclón B PU-3126	DO	BY PROFIBUS
PU-3126-SP	PU-3126	Parada motor bomba alimentadora ciclón B PU-3126	DO	BY PROFIBUS
PU-3126-RE	PU-3126	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	BY PROFIBUS
PU-3126-RS	PU-3126	Confirmación de motor funcionando bomba alimentadora ciclón B PU-3126	DI	BY PROFIBUS
PU-3126-PD	PU-3126	Enclavamiento secuencial bomba alimentadora ciclón B PU-3126	LOGICO	-
PU-3126-FL	PU-3126	Falla bomba alimentadora ciclón B PU-3126	DI	BY PROFIBUS
PU-3126-PE	PU-3126	Parada de emergencia bomba alimentadora ciclón B PU-3126	DI	-
PU-3126-VREF	PU-3126	Velocidad de referencia variador bomba alimentadora ciclón B PU-3126	AO	BY PROFIBUS
PU-3126-VACT	PU-3126	Velocidad actual variador bomba alimentadora ciclón B PU-3126	AI	BY PROFIBUS

TAG DCS	TAG EQUIPO	SERVICIO	TIPO I/O	COMUNICACIÓN
PU-3105-ST	PU-3105	Arranque motor bomba de finos PU-3105	DO	-
PU-3105-SP	PU-3105	Parada motor bomba de finos PU-3105	DO	-
PU-3105-RE	PU-3105	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	-
PU-3105-RS	PU-3105	Confirmación de motor funcionando bomba de finos PU-3105	DI	-
PU-3105-PD	PU-3105	Enclavamiento secuencial bomba de finos PU-3105	LOGICO	-
PU-3105-FL	PU-3105	Falla bomba de finos PU-3105	DI	-
PU-3105-PE	PU-3105	Parada de emergencia bomba de lamas PU-3105	DI	-
M-3113-ST	M-3113	Arranque motor agitador tanque de lamas M-3113	DO	-
M-3113-SP	M-3113	Parada motor agitador tanque de finos M-3113	DO	-
M-3113-RE	M-3113	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	-
M-3113-RS	M-3113	Confirmación de motor funcionando agitador tanque de lamas M-3113	DI	-
M-3113-PD	M-3113	Enclavamiento secuencial agitador tanque de lamas M-3113	LOGICO	-
M-3113-FL	M-3113	Falla agitador tanque de finos M-3113	DI	-
M-3113-PE	M-3113	Parada de emergencia agitador tanque de lamas M-3113	DI	-
PU-3123-ST	PU-3123	Arranque motor bomba sumidero PU-3123	DO	-
PU-3123-SP	PU-3123	Parada motor bomba sumidero PU-3123	DO	-
PU-3123-RE	PU-3123	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	-

TAG DCS	TAG EQUIPO	SERVICIO	TIPO I/O	COMUNICACIÓN
PU-3123-RS	PU-3123	Confirmación de motor funcionando bomba sumidero PU-3123	DI	-
PU-3123-PD	PU-3123	Enclavamiento secuencial bomba sumidero PU-3123	LOGICO	-
PU-3123-FL	PU-3123	Falla bomba sumidero PU-3123	DI	-
PU-3123-PE	PU-3123	Parada de emergencia bomba sumidero PU-3123	DI	-
M-3114-ST	M-3114	Arranque motor compresora molino M-3114	DO	-
M-3114-SP	M-3114	Parada motor compresora molino M-3114	DO	-
M-3114-RE	M-3114	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	-
M-3114-RS	M-3114	Confirmación de motor funcionando compresora molino M-3114	DI	-
M-3114-PD	M-3114	Enclavamiento secuencial compresora molino M-3114	LOGICO	-
M-3114-FL	M-3114	Falla compresora molino M-3114	DI	-
M-3114-PE	M-3114	Parada de emergencia compresora molino M-3114	DI	-
M-3116-ST	M-3116	Arranque motor Tanque acondicionador N°1 M-3116	DO	-
M-3116-SP	M-3116	Parada motor Tanque acondicionador N°1 M-3116	DO	-
M-3116-RE	M-3116	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	-
M-3116-RS	M-3116	Confirmación de motor Tanque acondicionador N°1 M-3116	DI	-

TAG DCS	TAG EQUIPO	SERVICIO	TIPO I/O	COMUNICACIÓN
M-3116-PD	M-3116	Enclavamiento secuencial Tanque acondicionador N°1 M-3116	LOGICO	-
M-3116-FL	M-3116	Falla compresora molino M-3116	DI	-
M-3116-PE	M-3116	Parada de emergencia Tanque acondicionador N°1 M-3116	DI	-
M-3117-ST	M-3117	Arranque motor Tanque acondicionador N°2 M-3117	DO	-
M-3117-SP	M-3117	Parada motor Tanque acondicionador N°2 M-3117	DO	-
M-3117-RE	M-3117	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	-
M-3117-RS	M-3117	Confirmación de motor funcionando Tanque acondicionador N°2 M-3117	DI	-
M-3117-PD	M-3117	Enclavamiento secuencial Tanque acondicionador N°2 M-3117	LOGICO	-
M-3117-FL	M-3117	Falla Tanque acondicionador N°2 M-3117	DI	-
M-3117-PE	M-3117	Parada de emergencia Tanque acondicionador N°2 M-3117	DI	-
M-3118-ST	M-3118	Arranque motor Magneto N°1 M-3118	DO	-
M-3118-SP	M-3118	Parada motor Magneto N°1 M-3118	DO	-
M-3118-RE	M-3118	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	-
M-3118-RS	M-3118	Confirmación de motor Magneto N°1 M-3118	DI	-
M-3118-PD	M-3118	Enclavamiento secuencial Magneto N°1 M-3118	LOGICO	-

TAG DCS	TAG EQUIPO	SERVICIO	TIPO I/O	COMUNICACIÓN
M-3118-FL	M-3118	Falla Magneto N°1 M-3118	DI	-
M-3118-PE	M-3118	Parada de emergencia Magneto N°1 M-3118	DI	-
M-3119-ST	M-3119	Arranque motor Magneto N°2 M-3119	DO	-
M-3119-SP	M-3119	Parada motor Magneto N°2 M-3119	DO	-
M-3119-RE	M-3119	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	-
M-3119-RS	M-3119	Confirmación de motor funcionando Magneto N°2 M-3119	DI	-
M-3119-PD	M-3119	Enclavamiento secuencial Magneto N°2 M-3119	LOGICO	-
M-3119-FL	M-3119	Falla Magneto N°2 M-3119	DI	-
M-3119-PE	M-3119	Parada de emergencia Magneto N°2 M-3119	DI	-
M-3120-ST	M-3120	Arranque motor MagnetoN°3 M-3120	DO	-
M-3120-SP	M-3120	Parada motor MagnetoN°3 M-3120	DO	-
M-3120-RE	M-3120	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	-
M-3120-RS	M-3120	Confirmación de motor funcionando Magneto N°3 M-3120	DI	-
M-3120-PD	M-3120	Enclavamiento secuencial Magneto N°3 M-3120	LOGICO	-
M-3120-FL	M-3120	Falla Magneto N°1 M-3120	DI	-
M-3120-PE	M-3120	Parada de emergencia MagnetoN°3 M-3120	DI	-
M-3140-ST	M-3140	Arranque motor molino primario 7x21 M-3140	DO	-
M-3140-SP	M-3140	Parada motor molino primario 7x21 M-3140	DO	-

TAG DCS	TAG EQUIPO	SERVICIO	TIPO I/O	COMUNICACIÓN
M-3140-RE	M-3140	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	-
M-3140-RS	M-3140	Confirmación de motor funcionando molino primario 7x21 M-3140	DI	-
M-3140-PD	M-3140	Enclavamiento secuencial molino primario 7x21 M-3140	LOGICO	-
M-3140-FL	M-3140	Falla molino primario 7x21 M-3140	DI	-
M-3140-PE	M-3140	Parada de emergencia molino primario 7x21 M-3140	DI	-
M-3143-ST	M-3143	Arranque motor carbones M-3143	DO	-
M-3143-SP	M-3143	Parada motor carbones M-3143	DO	-
M-3143-RE	M-3143	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	-
M-3143-RS	M-3143	Confirmación de motor funcionando carbones M-3143	DI	-
M-3143-PD	M-3143	Enclavamiento secuencial motor carbones M-3143	LOGICO	-
M-3143-FL	M-3143	Falla motor carbones M-3143	DI	-
M-3143-PE	M-3143	Parada de emergencia motor carbones M-3143	DI	-
PU-3115-ST	PU-3115	Arranque motor bomba lubricación-molino PU-3115	DO	-
PU-3115-SP	PU-3115	Parada motor bomba lubricación-molino PU-3115	DO	-
PU-3115-RE	PU-3115	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	-
PU-3115-RS	PU-3115	Confirmación de motor funcionando bomba lubricación-molino PU-3115	DI	-

TAG DCS	TAG EQUIPO	SERVICIO	TIPO I/O	COMUNICACIÓN
PU-3115-PD	PU-3115	Enclavamiento secuencial bomba lubricación-molino PU-3115	LOGICO	-
PU-3115-FL	PU-3115	Falla bomba lubricación-molino PU-3115	DI	-
PU-3115-PE	PU-3115	Parada de emergencia bomba lubricación-molino PU-3115	DI	-
M-3144-ST	M-3144	Arranque motor radiador M-3144	DO	-
M-3144-SP	M-3144	Parada motor radiador M-3144	DO	-
M-3144-RE	M-3144	Selector de campo - Local/Remoto (Rem=1, Loc=0)	DI	-
M-3144-RS	M-3144	Confirmación de motor funcionando radiador M-3144	DI	-
M-3144-PD	M-3144	Enclavamiento secuencial radiador M-3144	LOGICO	-
M-3144-FL	M-3144	Falla radiador M-3144	DI	-
M-3144-PE	M-3144	Parada de emergencia radiador M-3144	DI	-
LI-30001	LT-30001	Transmisor de nivel tanque de finos	AI	BY PROFIBUS
WIT-30001	WIT-30001	Balanza faja alimentadora Nro. 3	AI	BY MODBUS
FIT-30001	FIT-30001	Flujómetro agua a ingreso Molino 7x21	AI	BY PROFIBUS
FCV-30001	FCV-30001	Válvula de control para ingreso de agua Molino 7x21	AO	BY PROFIBUS

TAG DCS	TAG EQUIPO	SERVICIO	TIPO I/O	COMUNICACIÓN
DIT-30002	DIT-30002	Medidor de densidad de ingreso a ciclón 1	AI	-
FIT-30002	FIT-30002	Flujómetro de pulpa de ingreso a ciclón 1	AI	BY PROFIBUS
WIT-30002	WIT-30002	Flujomasa de ingreso a ciclón 1	LOGICO	-
DIT-30003	DIT-30003	Medidor de densidad de ingreso a ciclón 2	AI	-
FIT-30003	FIT-30003	Flujómetro de pulpa de ingreso a ciclón 2	AI	BY PROFIBUS
WIT-30003	WIT-30003	Flujomasa de ingreso a ciclón 2	LOGICO	-
LI-30002	LT-30002	Transmisor de nivel tanque de Lamas	AI	BY PROFIBUS
DIT-30004	DIT-30004	Medidor de densidad de ingreso cajón de descarga Molino 7x21	AI	-
FIT-30004	FIT-30004	Flujómetro de pulpa de ingreso cajón de descarga Molino 7x21	AI	BY PROFIBUS
WIT-30004	WIT-30004	Flujomasa de ingreso cajón de descarga Molino 7x21	LOGICO	-

TAG DCS	TAG EQUIPO	SERVICIO	TIPO I/O	COMUNICACIÓN
DIT-30005	DIT-30005	Medidor de densidad de ingreso a circuito magnetos	AI	-
FIT-30005	FIT-30005	Flujómetro de pulpa de ingreso a circuito magnetos	AI	BY PROFIBUS
WIT-30005	WIT-30005	Flujomasa de ingreso a circuito magnetos	LOGICO	-
LI-30003	LT-30003	Transmisor de nivel cajón de descarga A Molino 7x21	AI	BY PROFIBUS
LI-30004	LT-30004	Transmisor de nivel cajón de descarga B Molino 7x21	AI	BY PROFIBUS
PIT-30001	PIT-30001	Transmisor de presión ingreso a ciclón 1	AI	BY PROFIBUS
PIT-30002	PIT-30002	Transmisor de presión ingreso a ciclón 2	AI	BY PROFIBUS
FCV-30002	FCV-30002	Válvula de control para ingreso de agua a cajón de descarga Molino 7x21	AO	BY PROFIBUS
LS-30001	LS-30001	Switch de nivel para bomba sumidero	DI	-
LS-30002	LS-30002	Switch de nivel para entrada de alimentación Molino 7x21	DI	-
HA-30001-A	HS-30001-A	Pull cord faja alimentadora Nro1. CV-3106	DI	-
HS-30001-B	HS-30001-B	Pull cord faja alimentadora Nro1. CV-3106	DI	-

TAG DCS	TAG EQUIPO	SERVICIO	TIPO I/O	COMUNICACIÓN
ZAHH-30001-A	ZSHH-30001-A	Sensor de desalineamiento faja alimentadora tanque de finos Nro1.CV-3106	DI	-
ZAHH-30001-B	ZSHH-30001-B	Sensor de desalineamiento faja alimentadora tanque de finos Nro1. CV-3106	DI	-
HA-30002-A	HS-30002-A	Pull cord faja alimentadora Nro°3 molino CV-3111	DI	-
HA-30002-B	HS-30002-B	Pull cord faja alimentadora Nro°3 molino CV-3111	DI	-
ZAHH-30002-A	ZSHH-30002-A	Sensor de desalineamiento faja alimentadora molino CV-3111	DI	-
ZAHH-30002-B	ZSHH-30002-B	Sensor de desalineamiento faja alimentadora molino CV-3111	DI	-
FIT-30002-OUT	FIT-30002	Señal de flujo FIT-30002 hacia densímetro DIT-30002	AO	-
FIT-30003-OUT	FIT-30003	Señal de flujo FIT-30003 hacia densímetro DIT-30003	AO	-
FIT-30004-OUT	FIT-30004	Señal de flujo FIT-30004 hacia densímetro DIT-30004	AO	-

TAG DCS	TAG EQUIPO	SERVICIO	TIPO I/O	COMUNICACIÓN
FIT-30005- OUT	FIT-30005	Señal de flujo FIT-30005 hacia densímetro DIT-30005	AO	-

ANEXO E. Listado y procura de equipos.

TAG	SERVICIO	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	PRECIO TOT.
FIT-30001	Agua ingreso molino	Flujómetro Electromagnético	\$2,774.30	1	\$2,774.30
FIT-30002	Ingreso de pulpa a ciclón 1	Flujómetro Electromagnético	\$4,413.80	1	\$4,413.80
FIT-30003	Ingreso de pulpa a ciclón 2	Flujómetro Electromagnético	\$4,413.80	1	\$4,413.80
FIT-30004	ingreso de pulpa a cajón de descarga Molino	Flujómetro Electromagnético	\$4,413.80	1	\$4,413.80
FIT-30005	ingreso de pulpa a circuito magnetos	Flujómetro Electromagnético	\$4,413.80	1	\$4,413.80
DIT-30002	Medidor de densidad de ingreso a ciclón 1	Flujómetro Electromagnético	\$9,870.00	1	\$9,870.00
DIT-30003	Medidor de densidad de ingreso a ciclón 2	Flujómetro Electromagnético	\$9,870.00	1	\$9,870.00
DIT-30004	Ingreso cajón de descarga molino	Flujómetro Electromagnético	\$9,870.00	1	\$9,870.00
DIT-30005	ingreso de pulpa a circuito magnetos	Flujómetro Electromagnético	\$9,870.00	1	\$9,870.00

TAG	SERVICIO	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	PRECIO TOT.
PIT-30001	Línea de ingreso a Ciclón 1	Transmisor de presión	\$1,485.20	1	\$1,485.20
PIT-30002	Línea de ingreso a Ciclón 2	Transmisor de presión	\$1,485.20	1	\$1,485.20
FCV-30001	Control Ingreso agua a molino	Actuador electro neumático	\$ 6,314.00	1	\$ 6,314.0
FCV-30002	Control de agua Descarga a molino	Actuador electro neumático	\$ 6,314.00	1	\$ 6,314.0
PIC-30001	Control presión a Ciclón 1	Controlador PID	\$909.22	1	\$909.22
PIC-30002	Control presión a Ciclón 2	Controlador PID	\$909.22	1	\$909.22
WIC-30001	Control alimentación molino	Control de balanza	\$1,027.86	1	\$1,027.86
LIT-30001	Nivel de tanque de finos	Transmisor de nivel	\$2,652.00	1	\$2,652.00
LIT-30003	Nivel cajón descarga A molino	Transmisor de nivel	\$2,652.00	1	\$2,652.00

TAG	SERVICIO	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	PRECIO TOT.
LIT-30004	Nivel cajón descarga B molino	Transmisor de nivel	\$2,652.00	1	\$2,652.00
LSLL-30002	Switch nivel bajo bajo tanque lamas	Switch de nivel	\$1,008.00	1	\$1,008.00
LSLL-30003	Switch nivel bajo bajo descarga A molino	Switch de nivel	\$1,008.00	1	\$1,008.00
LSLL-30004	Switch nivel bajo bajo descarga B molino	Switch de nivel	\$1,008.00	1	\$1,008.00
-	Tablero con variadores ABB	Variadores para Fajas Alimentadoras 1 y 3, Bombas de alimentación a ciclones 1 y 2	\$23,395.00	1	\$23,395.00
-	Tablero con Soft Starter ABB	Soft Starter para el arranque del motor de Molino PSTX370-600-70	\$12,012.00	1	\$12,012.00
-	Fuente de poder ininterrumpida (UPS).	Transformador de Aislamiento 2KVA,	\$2,100.00	1	\$2,100.00
-	Tablero para distribución 120VAC y UPS	Componentes de conexión interno.	\$1,100.00	1	\$1,100.00
-	Controlador AC800M	Equipamiento completo PLC	\$15,022.00	1	\$15,022.00

TAG	SERVICIO	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	PRECIO TOT.
-	Controller's Cabinet	01 Switch Industrial Administrable de 08 Puertos + 01 F.O. Multimodo connector ST. 01 Transceiver F.O. multimodo to cobre RJ-45.	\$4,391.00	1	\$4,391.00
-	HMI y Gabinete	Incluye componentes de conexión interno	\$1,115.00	1	\$1,115.00
-	Conectividad y cable	Gateway Profibus DP/PA (configuración de instrumentos).	\$1,500.00	1	\$1,500.00
-	-	Coupler Profibus DP/PA	\$2,482.00	1	\$2,482.00
-	-	Conectores, UBCON-PLUS-Profibus/sc2.	\$4.2	20	\$84.00
-	-	Cable Profibus, Teldor.	\$2.30	300	\$2.30
-	-	TZIDC - Juego de montaje para actuadores lineales, elevación de regulación 10...35 mm	\$70.00	2	\$140.00

TAG	SERVICIO	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	PRECIO TOT.
-	-	TZIDC - Adaptador (acoplador de eje) para actuadores de giro según VDI/VDE 3845	\$50.00	2	\$100.00
-	-	Juego de montaje para instalación en tubo de 2" de transmisores de flujo	\$200.00	4	\$800.00
-	-	Electrónica HART para transmisores de presión	\$310.00	2	\$620.00
-	-	Interface PROFIBUS DP/ETHERNET (configuración de instrumentos)	\$1,800.00	1	\$1,800.00
-	-	Protector de segmentos Profibus	\$680.00	2	\$1,360.00
	\$157,357.50				
TAG	SERVICIO	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	PRECIO TOT.
FIT-30001	Agua ingreso molino	Flujómetro Electromagnético	\$2,774.30	1	\$2,774.30
FIT-30002	Ingreso de pulpa a ciclón 1	Flujómetro Electromagnético	\$4,413.80	1	\$4,413.80

TAG	SERVICIO	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	PRECIO TOT.
FIT-30003	Ingreso de pulpa a ciclón 2	Flujómetro Electromagnético	\$4,413.80	1	\$4,413.80
FIT-30004	ingreso de pulpa a cajón de descarga Molino	Flujómetro Electromagnético	\$4,413.80	1	\$4,413.80
FIT-30005	ingreso de pulpa a circuito magnetos	Flujómetro Electromagnético	\$4,413.80	1	\$4,413.80
DIT-30002	Medidor de densidad de ingreso a ciclón 1	Flujómetro Electromagnético	\$9,870.00	1	\$9,870.00
DIT-30003	Medidor de densidad de ingreso a ciclón 2	Flujómetro Electromagnético	\$9,870.00	1	\$9,870.00
DIT-30004	Ingreso cajón de descarga molino	Flujómetro Electromagnético	\$9,870.00	1	\$9,870.00
DIT-30005	ingreso de pulpa a circuito magnetos	Flujómetro Electromagnético	\$9,870.00	1	\$9,870.00
PIT-30001	Línea de ingreso a Ciclón 1	Transmisor de presión	\$1,485.20	1	\$1,485.20
PIT-30002	Línea de ingreso a Ciclón 2	Transmisor de presión	\$1,485.20	1	\$1,485.20

TAG	SERVICIO	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	PRECIO TOT.
FCV-30001	Control Ingreso agua a molino	Actuador electro neumático	\$ 6,314.00	1	\$ 6,314.0
FCV-30002	Control de agua Descarga a molino	Actuador electro neumático	\$ 6,314.00	1	\$ 6,314.0
PIC-30001	Control presión a Ciclón 1	Controlador PID	\$909.22	1	\$909.22
PIC-30002	Control presión a Ciclón 2	Controlador PID	\$909.22	1	\$909.22
WIC-30001	Control alimentación molino	Control de balanza	\$1,027.86	1	\$1,027.86
LIT-30001	Nivel de tanque de finos	Transmisor de nivel	\$2,652.00	1	\$2,652.00
LIT-30003	Nivel cajón descarga A molino	Transmisor de nivel	\$2,652.00	1	\$2,652.00
LIT-30004	Nivel cajón descarga B molino	Transmisor de nivel	\$2,652.00	1	\$2,652.00
LSLL-30002	Switch nivel bajo bajo tanque lamas	Switch de nivel	\$1,008.00	1	\$1,008.00

TAG	SERVICIO	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	PRECIO TOT.
LSLL-30003	Switch nivel bajo bajo descarga A molino	Switch de nivel	\$1,008.00	1	\$1,008.00
LSLL-30004	Switch nivel bajo bajo descarga B molino	Switch de nivel	\$1,008.00	1	\$1,008.00
-	Tablero con variadores ABB	Variadores para Fajas Alimentadoras 1 y 3, Bombas de alimentación a ciclones 1 y 2	\$23,395.00	1	\$23,395.00
-	Tablero con Soft Starter ABB	Soft Starter para el arranque del motor de Molino PSTX370-600-70	\$12,012.00	1	\$12,012.00
-	Fuente de poder ininterrumpida (UPS).	Transformador de Aislamiento 2KVA,	\$2,100.00	1	\$2,100.00
-	Tablero para distribución 120VAC y UPS	Componentes de conexión interno.	\$1,100.00	1	\$1,100.00
-	Controlador AC800M	Equipamiento completo PLC	\$15,022.00	1	\$15,022.00
-	Controller's Cabinet	01 Switch Industrial Administrable de 08 Puertos + 01 F.O. Multimodo connector ST.	\$4,391.00	1	\$4,391.00

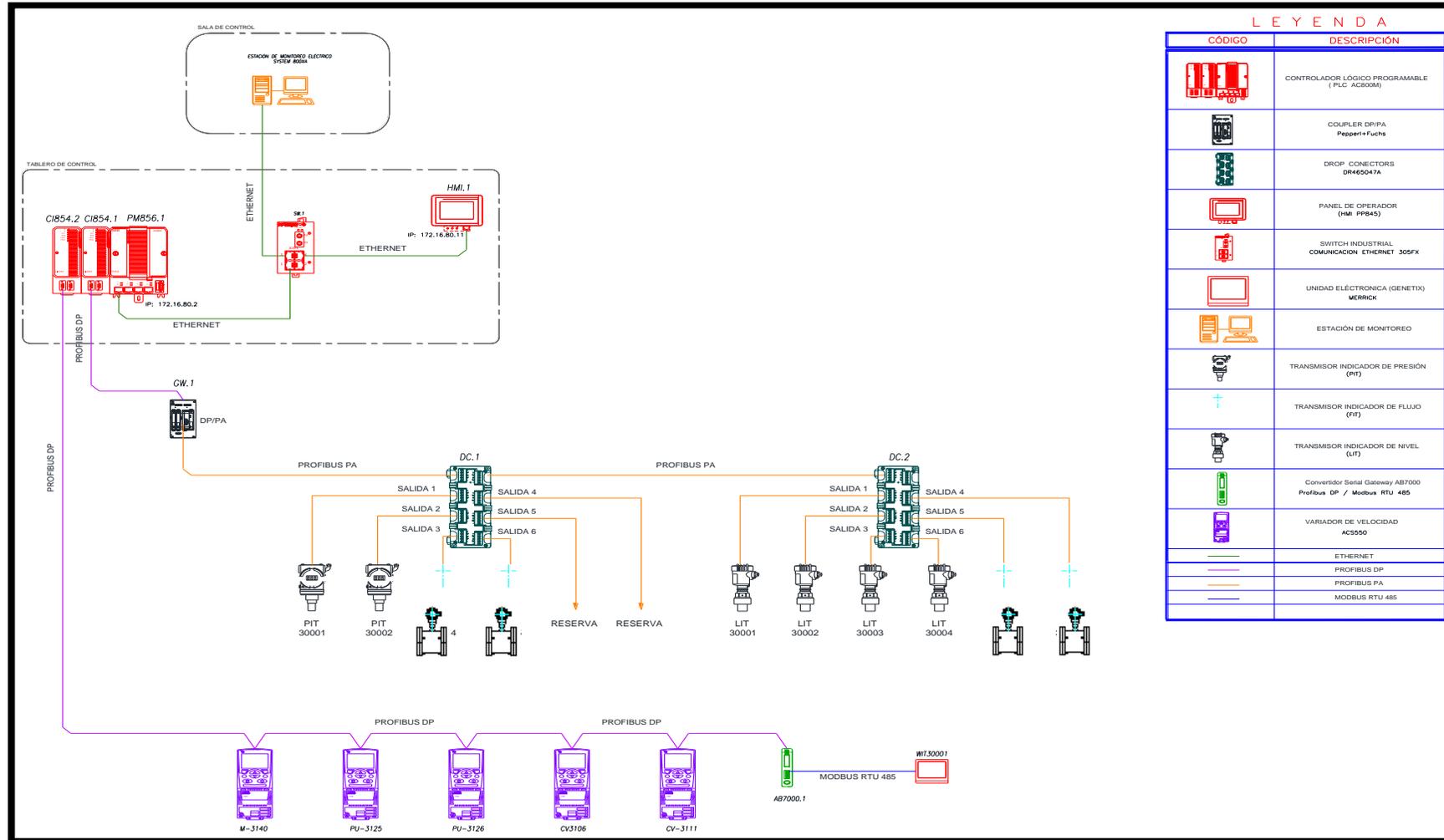
TAG	SERVICIO	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	PRECIO TOT.
		01 Transceiver F.O. multimodo to cobre RJ-45.			
-	HMI y Gabinete	Incluye componentes de conexión interno	\$1,115.00	1	\$1,115.00
-	Conectividad y cable	Gateway Profibus DP/PA (configuración de instrumentos).	\$1,500.00	1	\$1,500.00
-	-	Coupler Profibus DP/PA	\$2,482.00	1	\$2,482.00
-	-	Conectores, UBCON-PLUS-Profibus/sc2.	\$4.2	20	\$84.00
-	-	Cable Profibus, Teldor.	\$2.30	300	\$2.30
-	-	TZIDC - Juego de montaje para actuadores lineales, elevación de regulación 10...35 mm	\$70.00	2	\$140.00
-	-	TZIDC - Adaptador (acoplador de eje) para actuadores de giro según VDI/VDE 3845	\$50.00	2	\$100.00
-	-	Juego de montaje para instalación en tubo de 2" de transmisores de flujo	\$200.00	4	\$800.00

TAG	SERVICIO	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	PRECIO TOT.
-	-	Electrónica HART para transmisores de presión	\$310.00	2	\$620.00
-	-	Interface PROFIBUS DP/ETHERNET (configuración de instrumentos)	\$1,800.00	1	\$1,800.00
-	-	Protector de segmentos Profibus	\$680.00	2	\$1,360.00
					\$157,357.50

ANEXO F. Selección de convertidores de frecuencia de CA de ABB

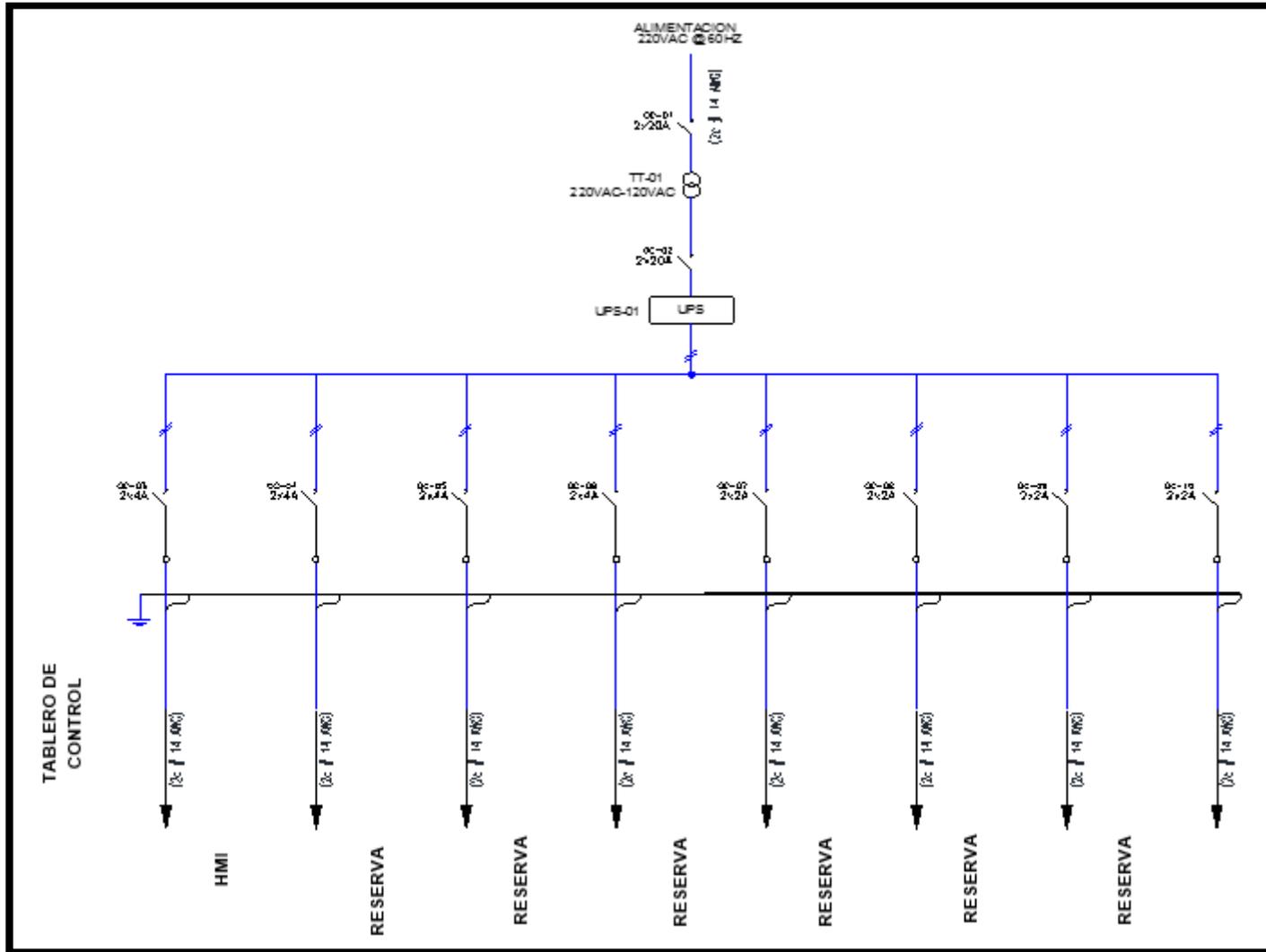
Aplicaciones	Microconvertidores de frecuencia ABB		Convertidores de frecuencia para maquinaria ABB	Convertidores de frecuencia de propósito general ABB		
	ACS55	ACS150	ACS355	ACS310	ACS550	ACS580
Bombas	●	●	●	●	●	●
Ventiladores	●	●	●	●	●	●
Cintas transportadoras	●	●	●	-	●	●
Maquinaria de manipulación de materiales	●	●	●	-	●	●
Máquinas de ejercicios	●	●	-	-	-	-
Gama blanca	●	●	-	-	-	-
Accesos, puertas, barreras	●	●	●	-	-	-
Compresores	-	-	●	●	●	●
Máquinas de corte, cizallas, sierras	-	-	●	-	●	●
Extrusoras	-	-	●	-	●	●
Máquina-herramienta, mezcladoras, agitadoras	-	-	●	-	●	●
Hiladoras	-	●	●	-	●	●
Centrifugadoras	-	-	●	-	●	●
Líneas de procesamiento	-	-	-	-	●	●
Especificación	ACS55	ACS150	ACS355	ACS310	ACS550	ACS580
Rangos de tensiones y potencias	Monofásica, 100 a 120 V: 0,18 a 0,37 kW	Monofásica, 200 a 240 V: 0,37 a 2,2 kW	Monofásica, 200 a 240 V: 0,37 a 2,2 kW	Monofásica, 200 a 240 V: 0,37 a 2,2 kW		
	Monofásica, 200 a 240 V: 0,18 a 2,2 kW	Trifásica, 200 a 240 V: 0,37 a 2,2 kW	Trifásica, 200 a 240 V: 0,37 a 11 kW	Trifásica, 200 a 240 V: 0,37 a 11 kW	Trifásica, 208 a 240 V: 0,75 a 75 kW	
		Trifásica, 380 a 480 V: 0,37 a 4 kW	Trifásica, 380 a 480 V: 0,37 a 22 kW	Trifásica, 380 a 480 V: 0,37 a 22 kW	Trifásica, 380 a 480 V: 0,75 a 355 kW	Trifásica, 380 a 480 V: 0,75 a 500 kW

ANEXO G. Propuesta Sistema de Control Automático, arquitectura de comunicación

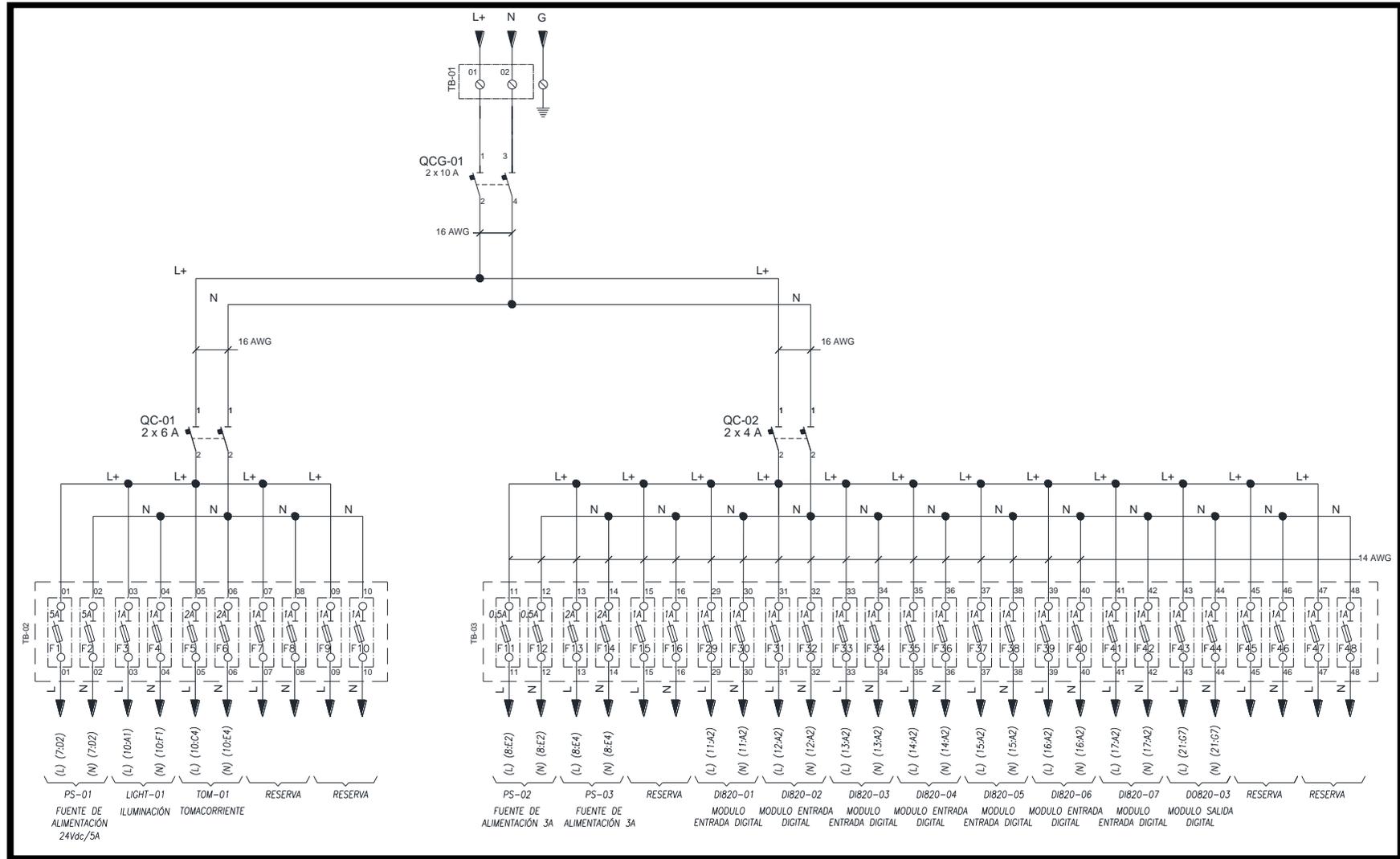


LEYENDA	
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC ACS08M)
	COUPLER DP/PA Pepper+Fuchs
	DROP CONNECTORS DR460Q47A
	PANEL DE OPERADOR (HMI PP845)
	SWITCH INDUSTRIAL COMUNICACION ETHERNET 305FX
	UNIDAD ELECTRÓNICA (GENETIX) MERRICK
	ESTACIÓN DE MONITOREO
	TRANSMISOR INDICADOR DE PRESIÓN (PIT)
	TRANSMISOR INDICADOR DE FLUJO (FIT)
	TRANSMISOR INDICADOR DE NIVEL (LIT)
	Convertidor Serial Gateway AB7000 Profibus DP / Modbus RTU 485
	VARIADOR DE VELOCIDAD ACS550
	ETHERNET
	PROFIBUS DP
	PROFIBUS PA
	MODBUS RTU 485

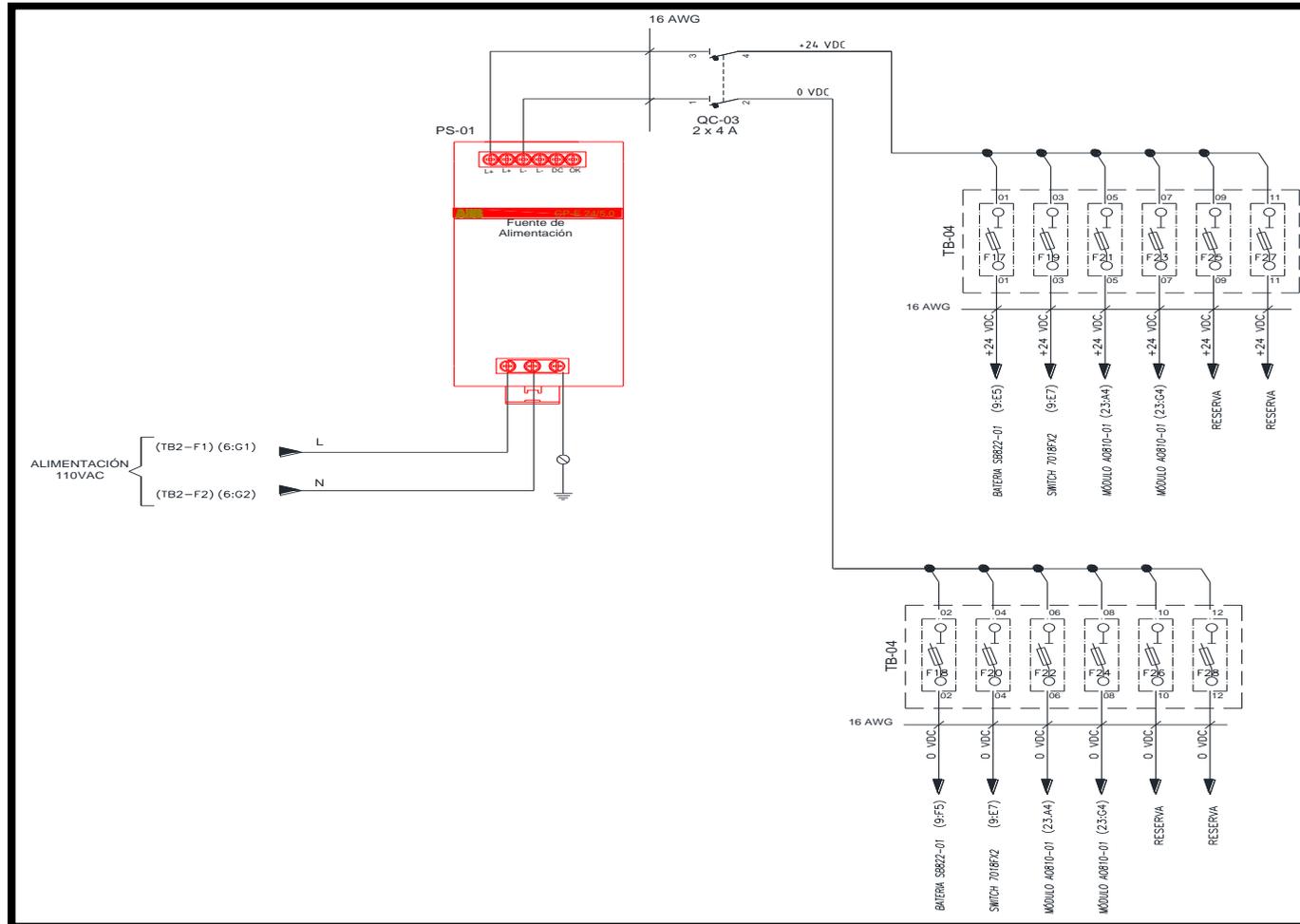
ANEXO H. Propuesta Sistema de Control Automático, Diagrama unifilar.



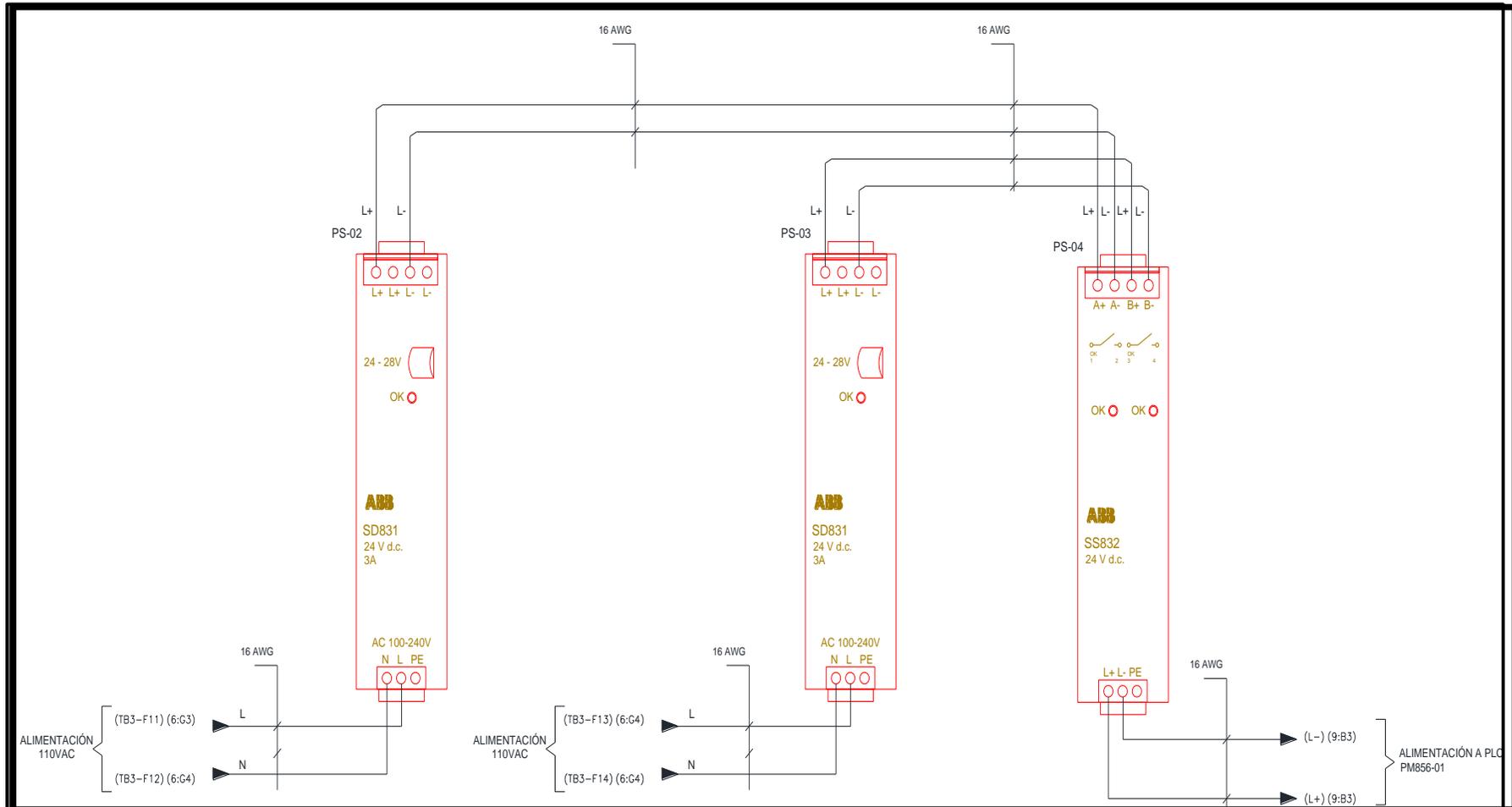
ANEXO I. Propuesta Sistema de Control Automático, Diagrama trifilar eléctrico.



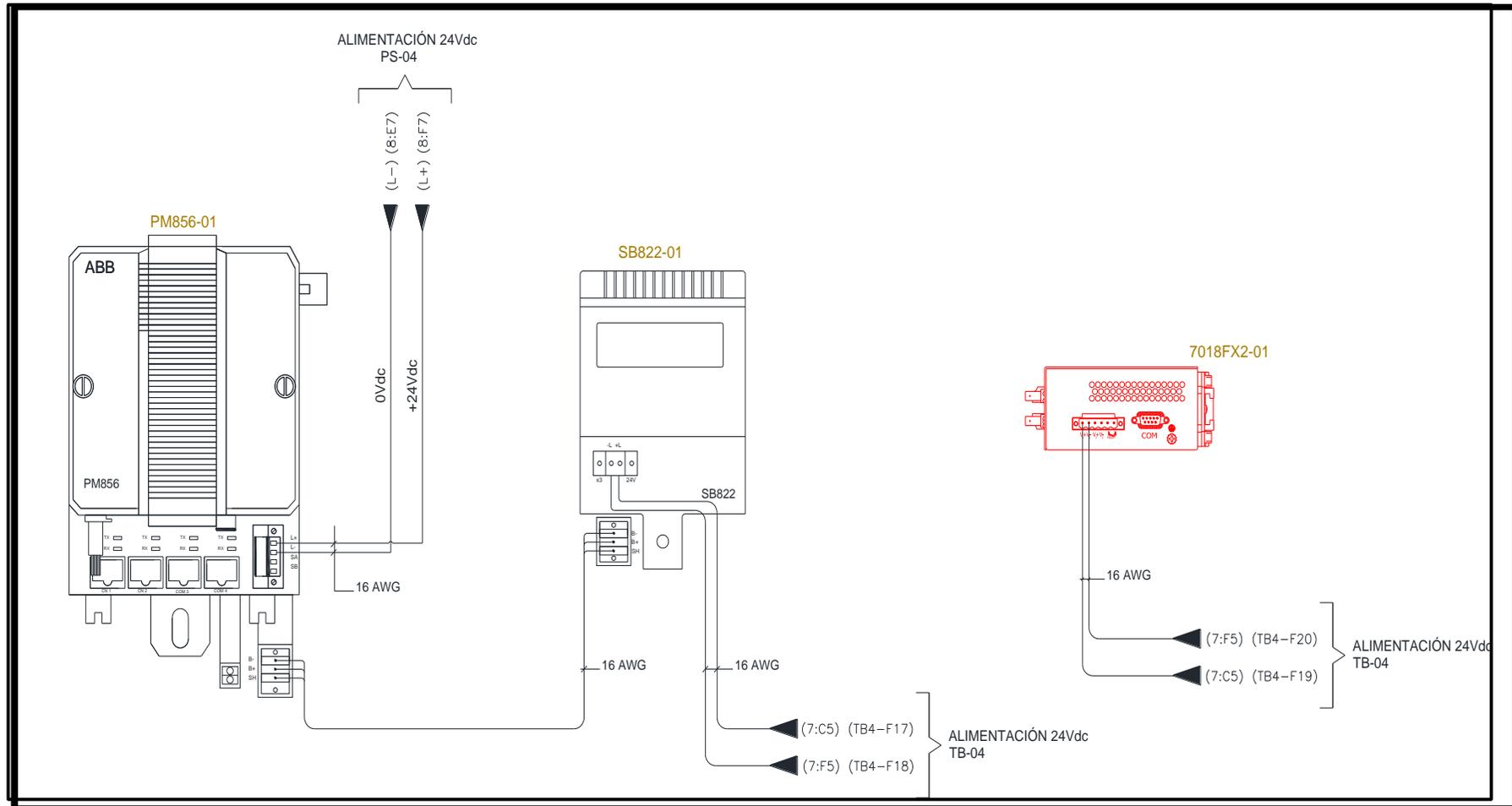
ANEXO J. Propuesta Sistema de Control Automático, Diagrama de distribución 24VDC



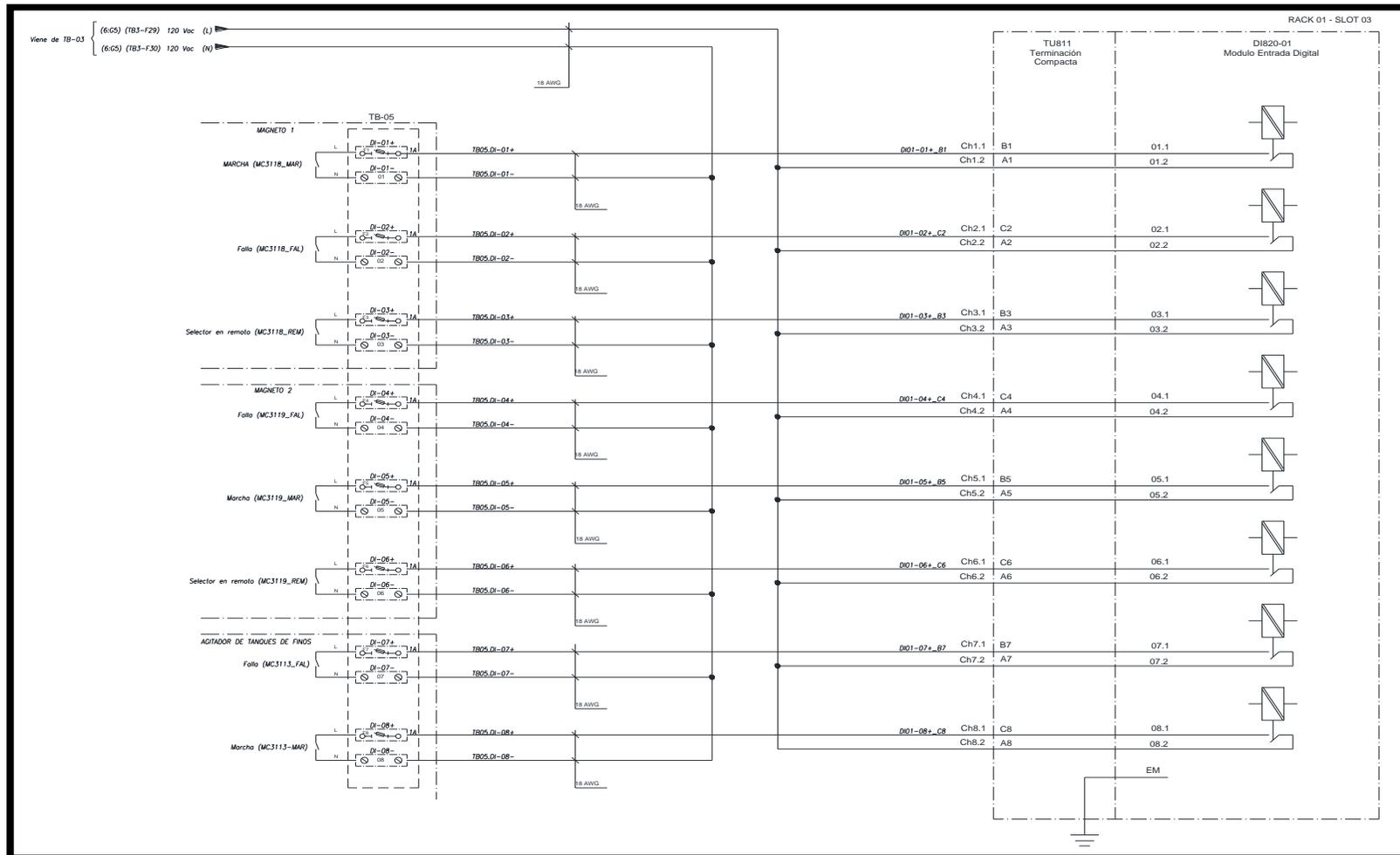
ANEXO K. Propuesta Sistema de Control Automático, Diagrama de distribución Fuentes 24VDC.



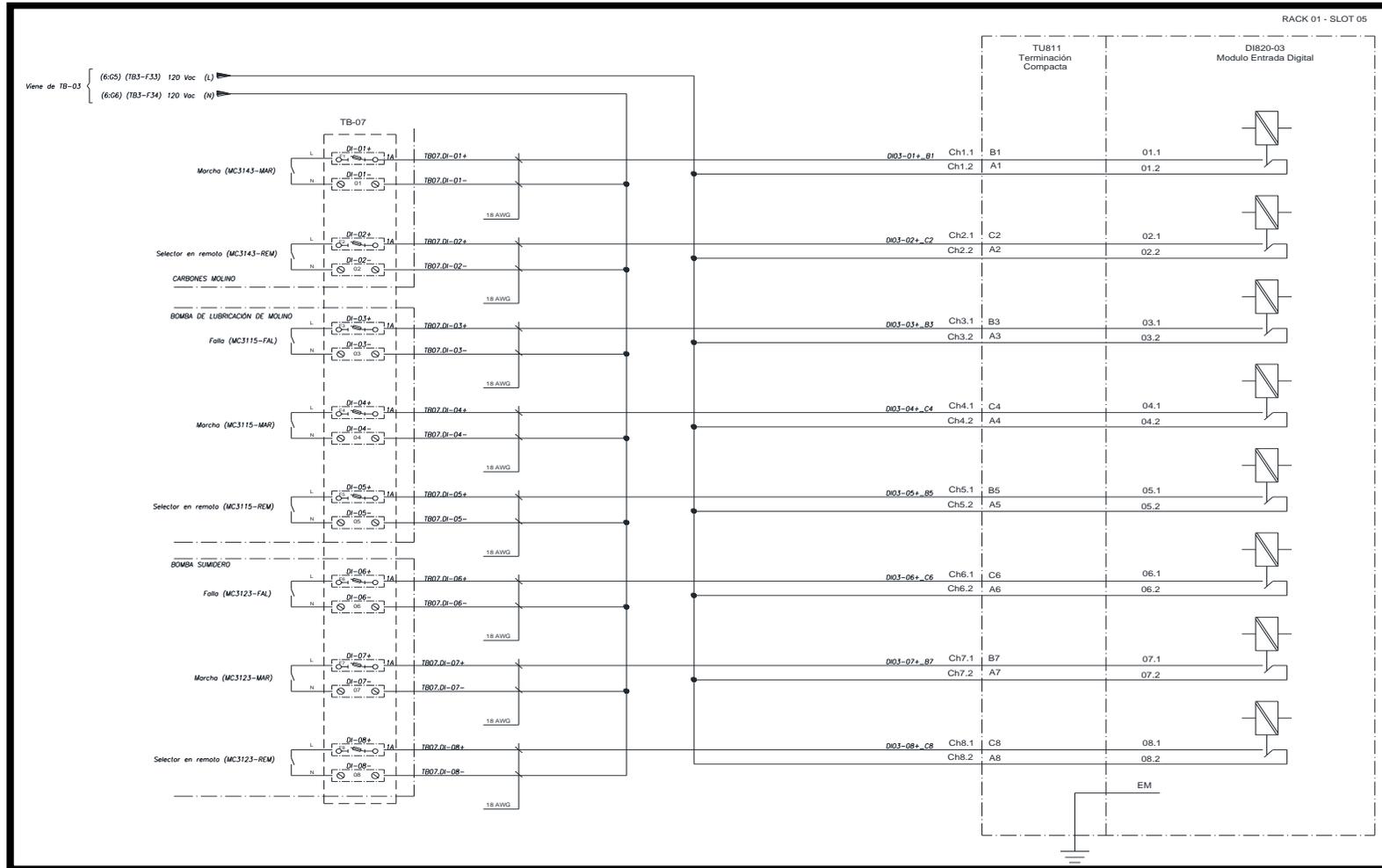
ANEXO L. Propuesta Sistema de Control Automático, alimentación 24VDC a PLC PM 856.



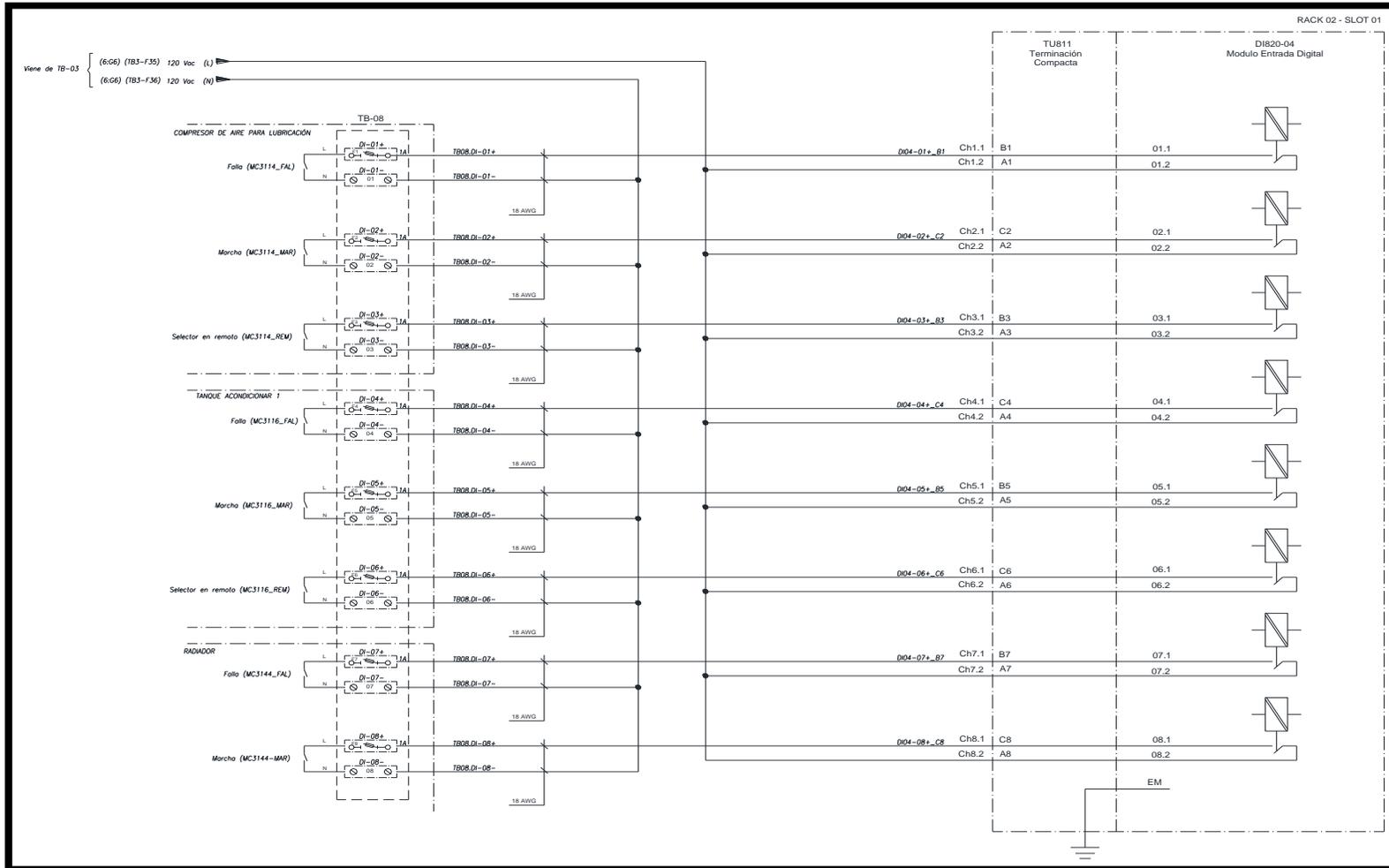
ANEXO LL. Propuesta Sistema de Control Automático, alimentación y conexionado de modulo DI 820-1



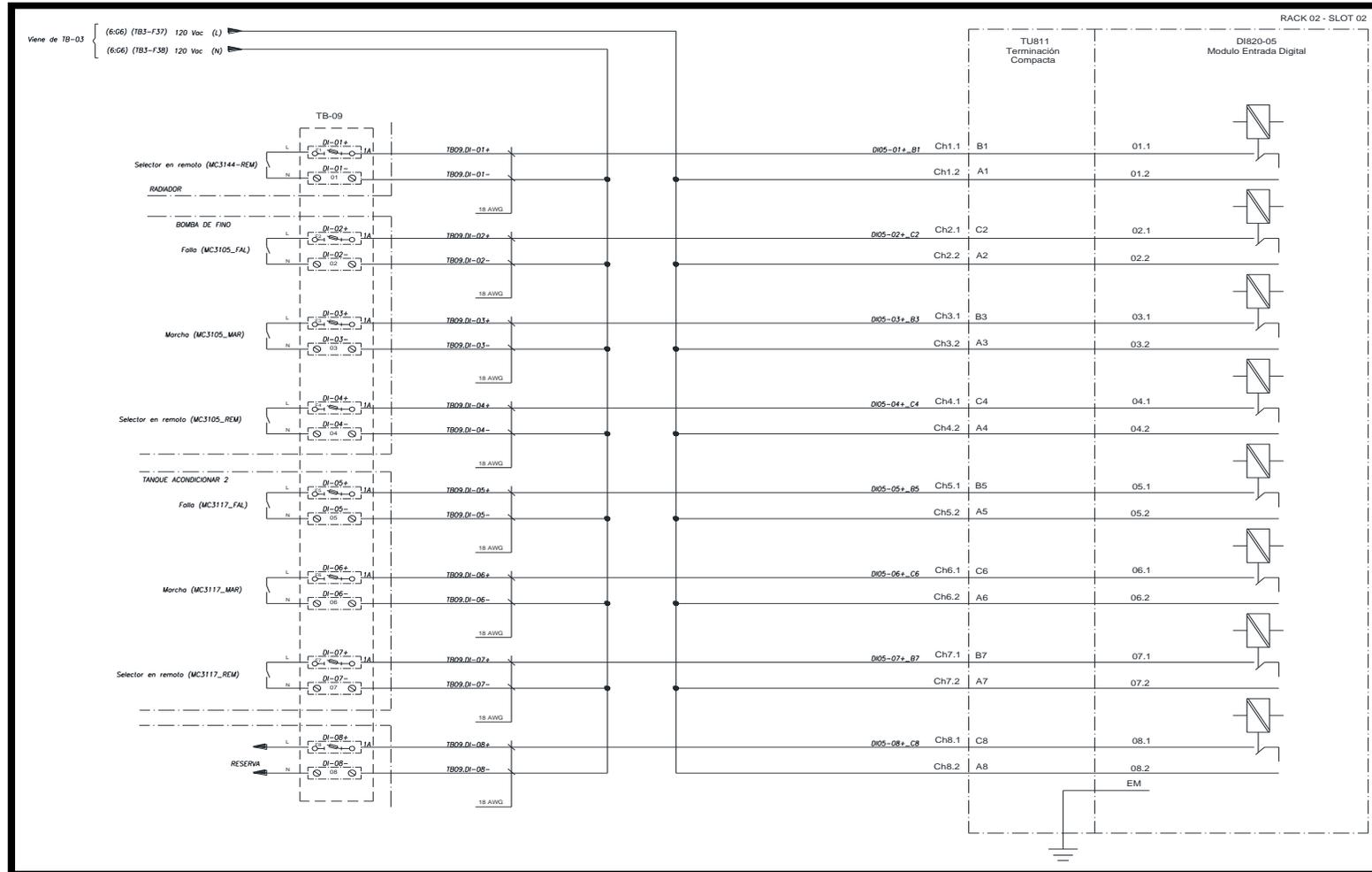
ANEXO N. Propuesta Sistema de Control Automático, alimentación y conexionado de modulo DI 820-3



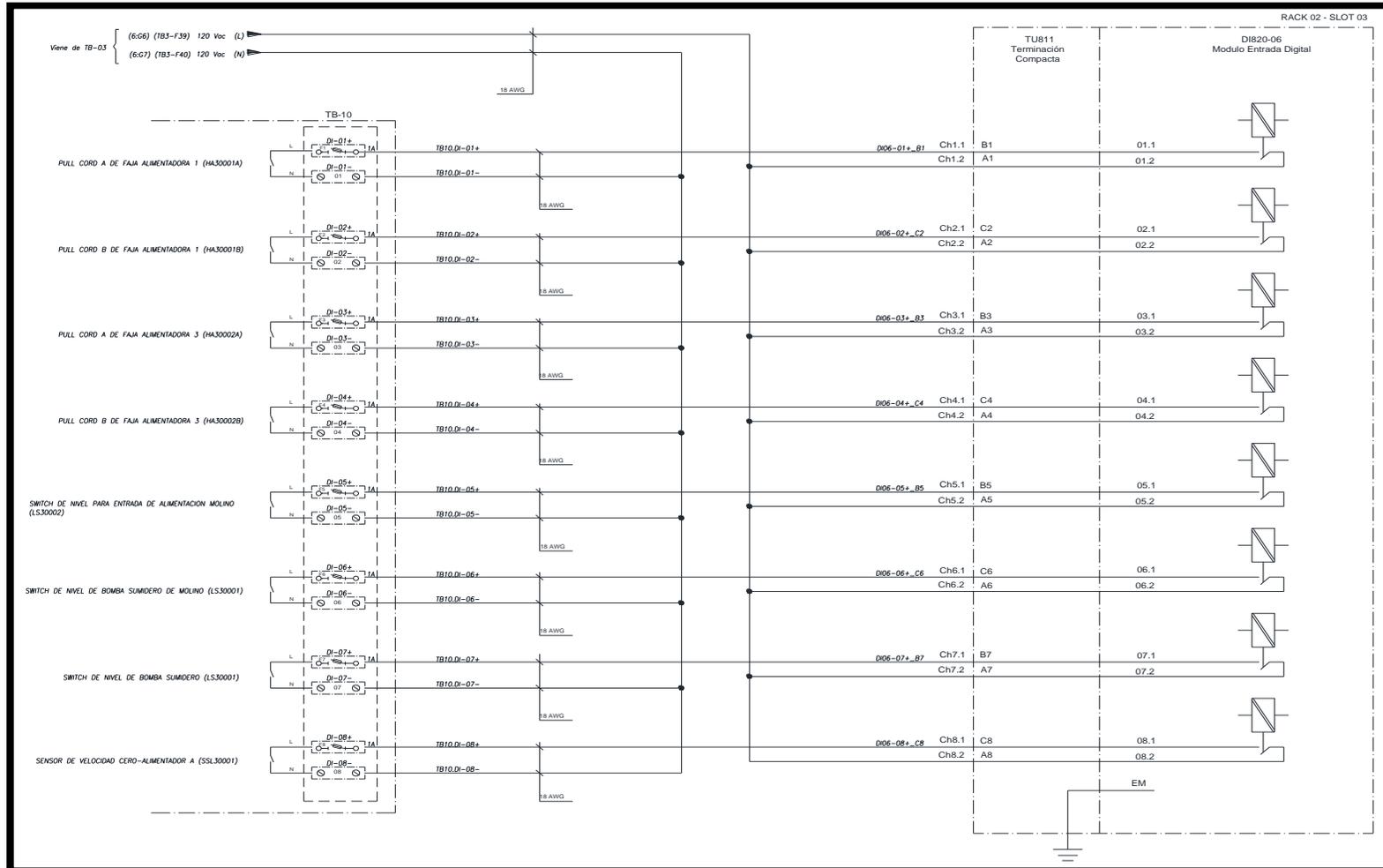
ANEXO O. Propuesta Sistema de Control Automático, alimentación y conexionado de modulo DI 820-4



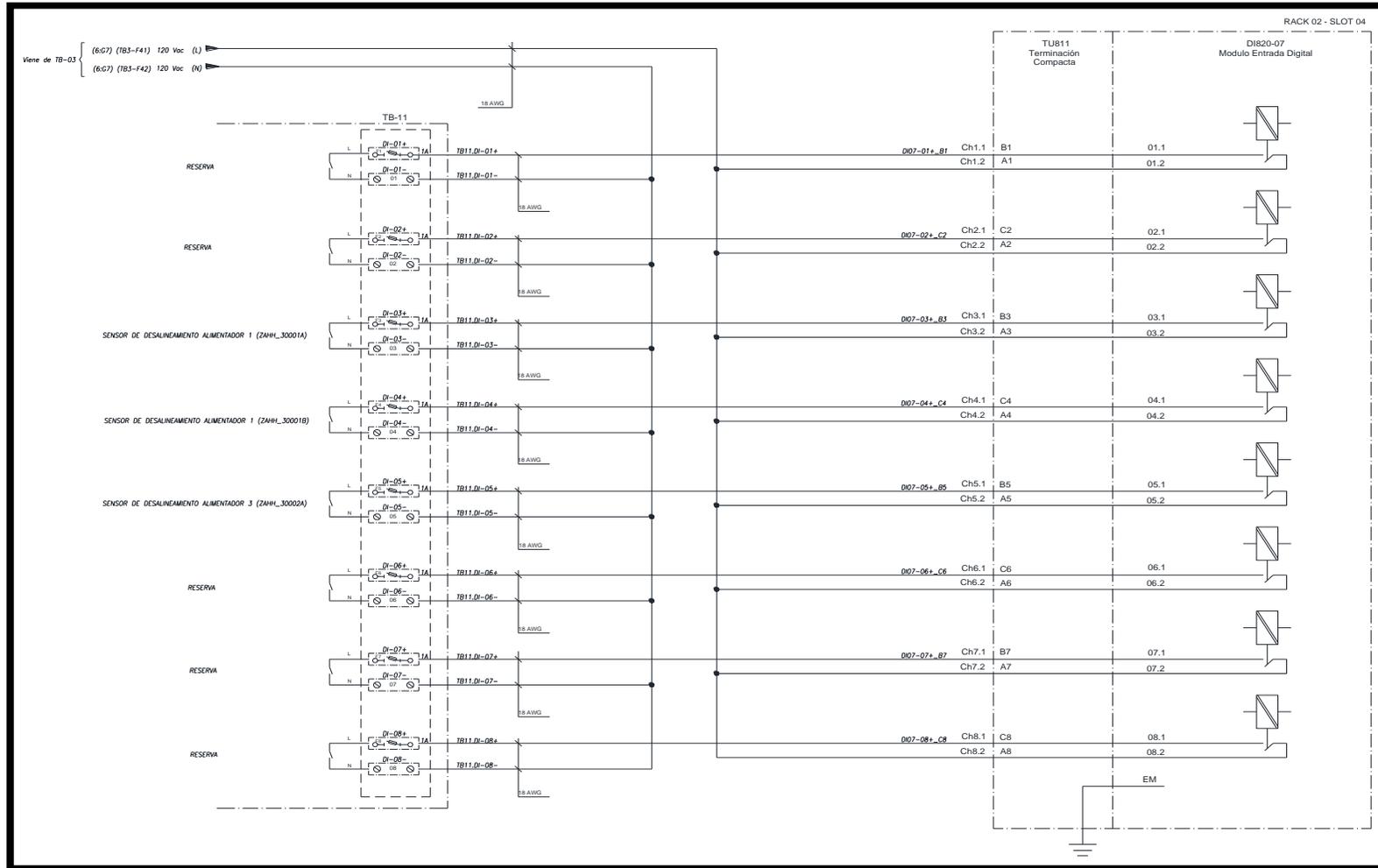
ANEXO P. Propuesta Sistema de Control Automático, alimentación y conexionado de modulo DI 820-5



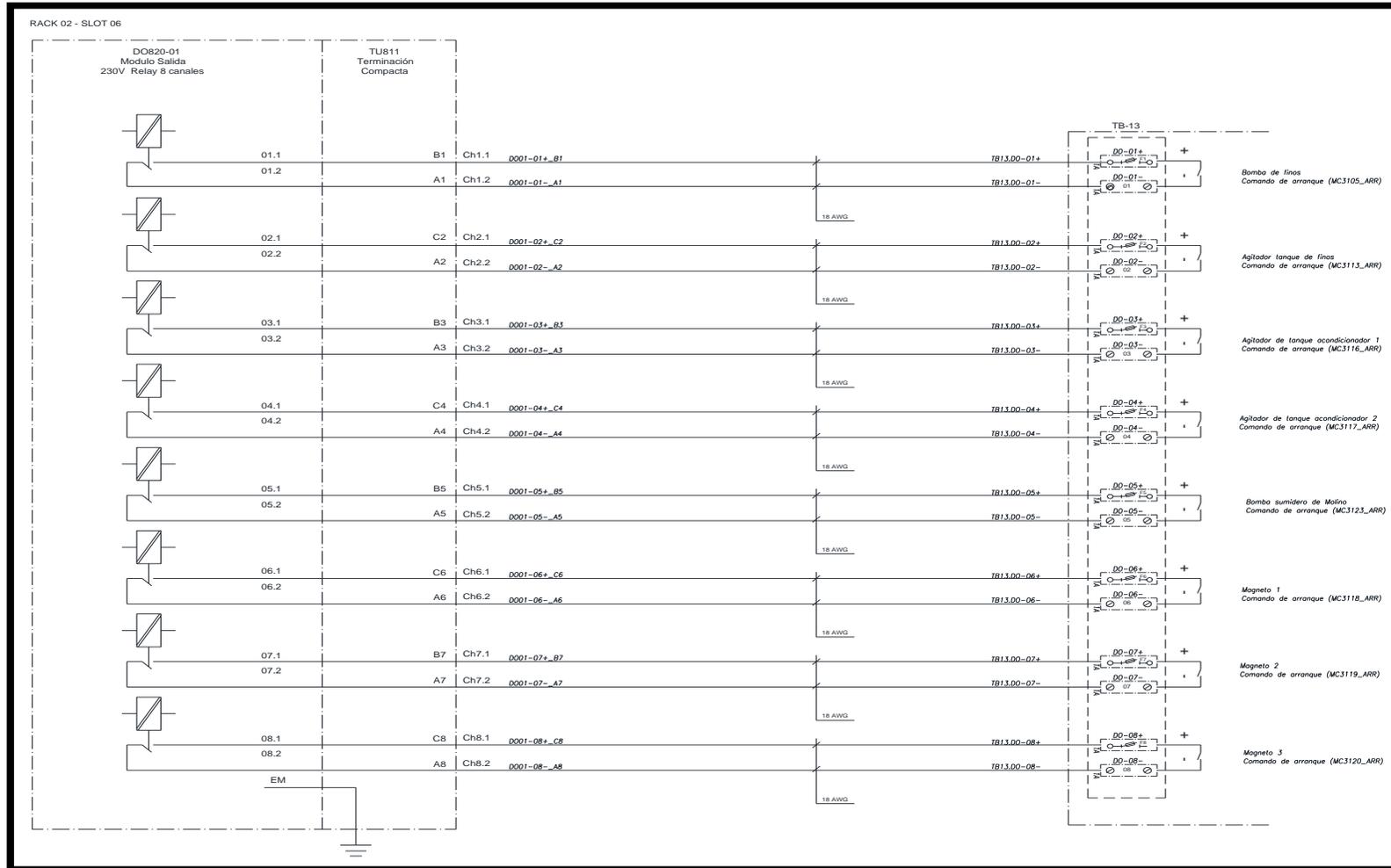
ANEXO Q. Propuesta Sistema de Control Automático, alimentación y conexionado de modulo DI 820-6



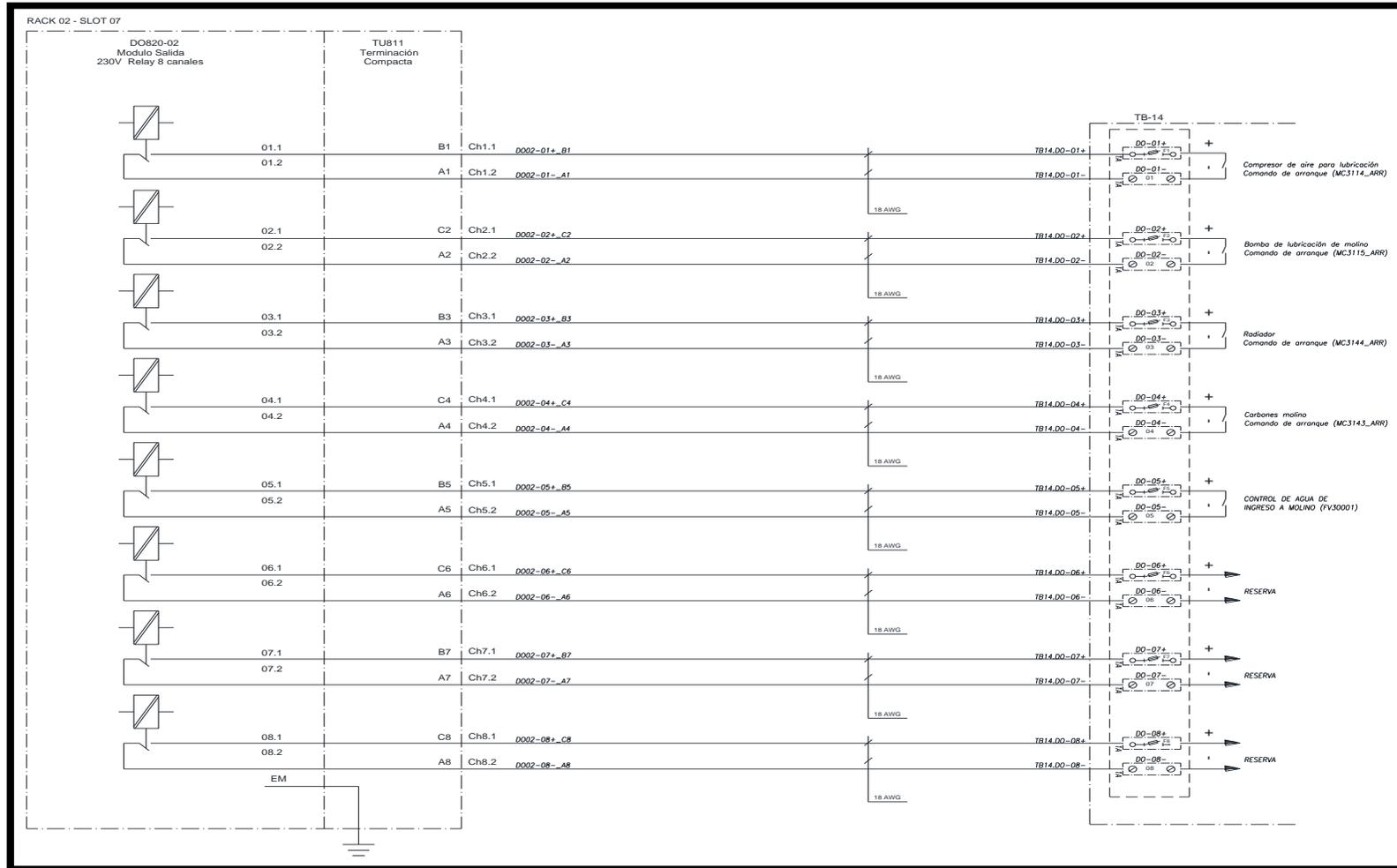
ANEXO R. Propuesta Sistema de Control Automático, alimentación y conexonado de modulo DI 820-7



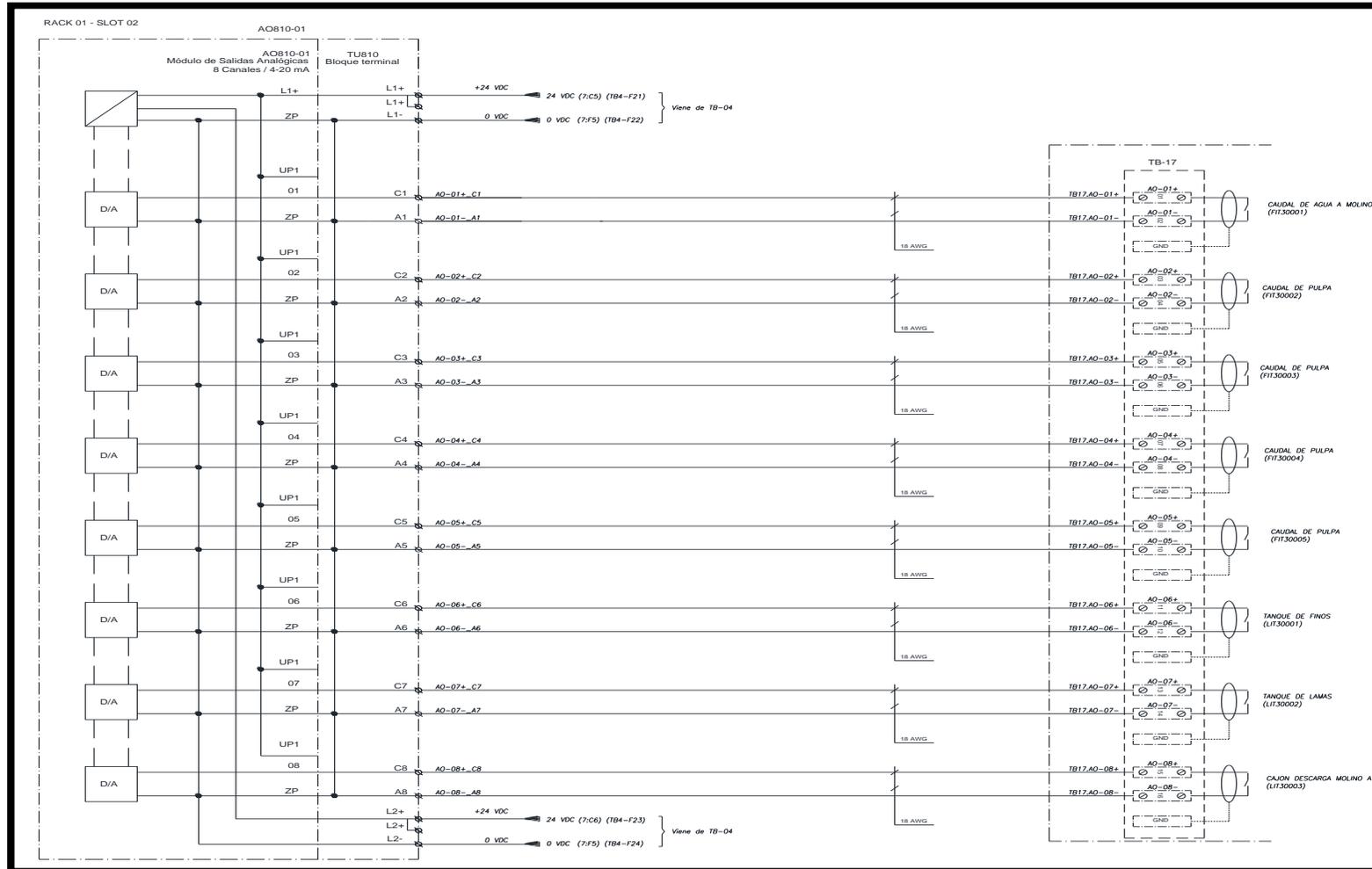
ANEXO S. Propuesta Sistema de Control Automático, alimentación y conexionado de modulo DO 820-1



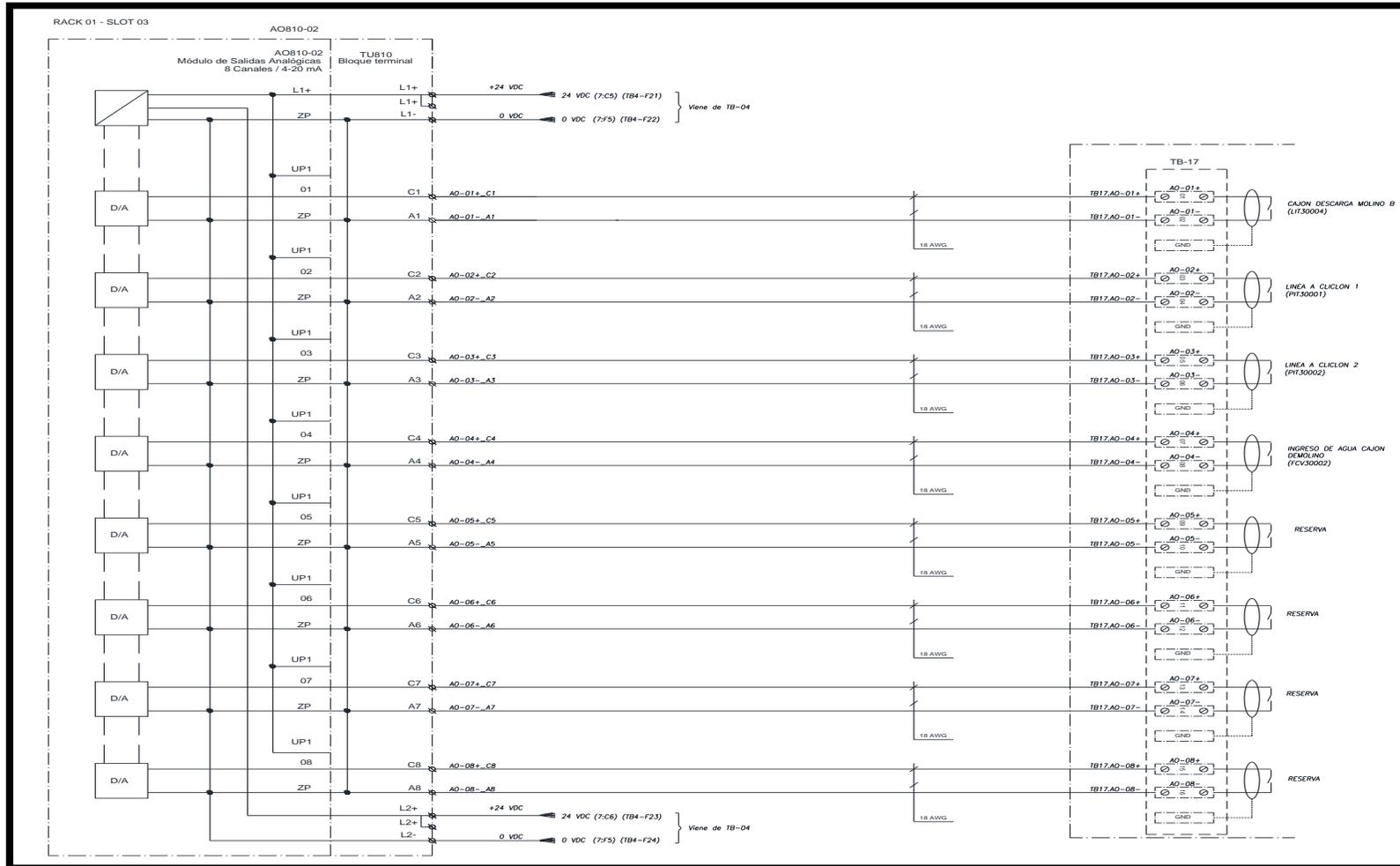
ANEXO V. Propuesta Sistema de Control Automático, alimentación y conexonado de modulo DO 820-2



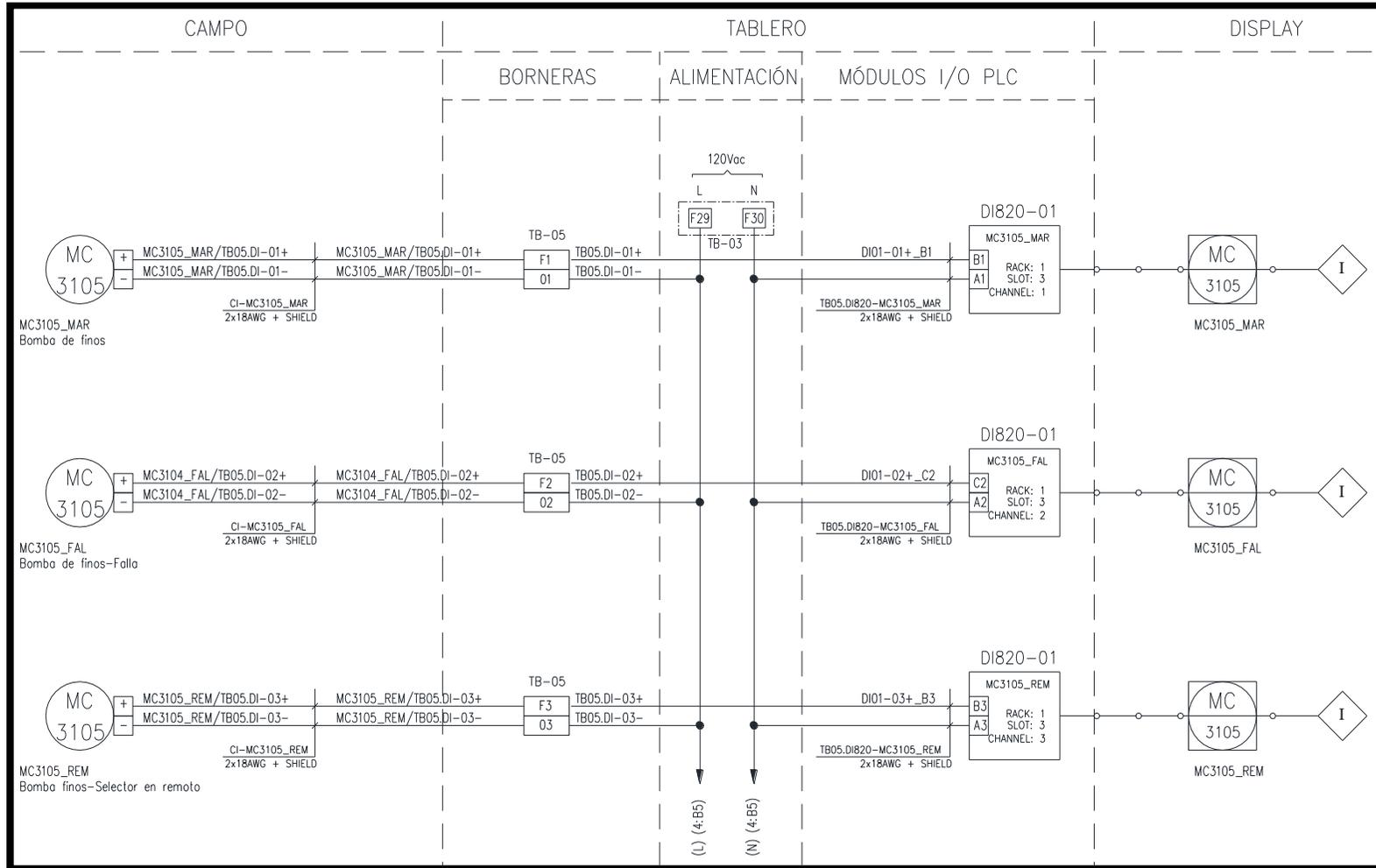
ANEXO W. Propuesta Sistema de Control Automático, conexionado de módulo AO 810-1



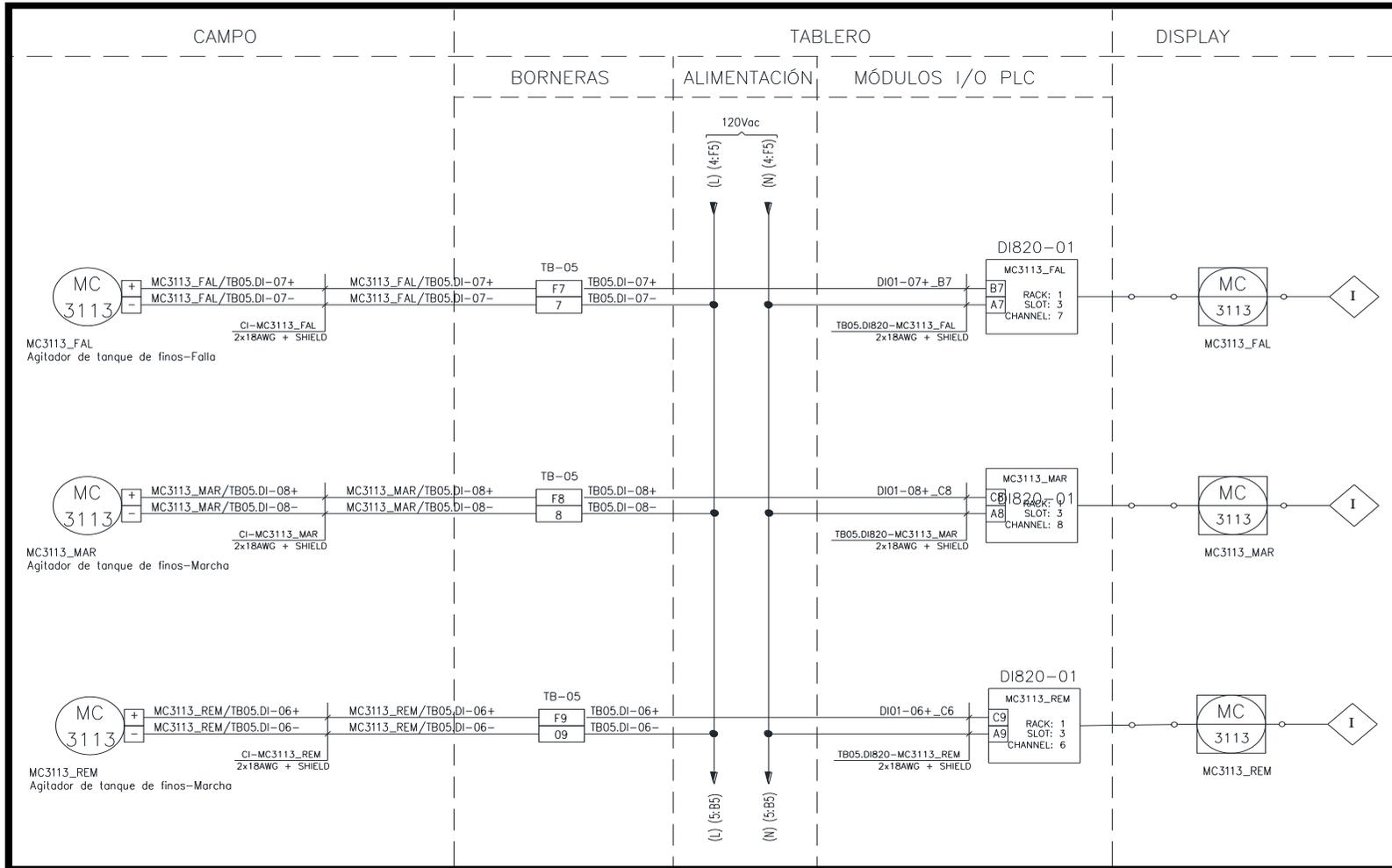
ANEXO X. Propuesta Sistema de Control Automático, conexasión de módulo AO 810-2



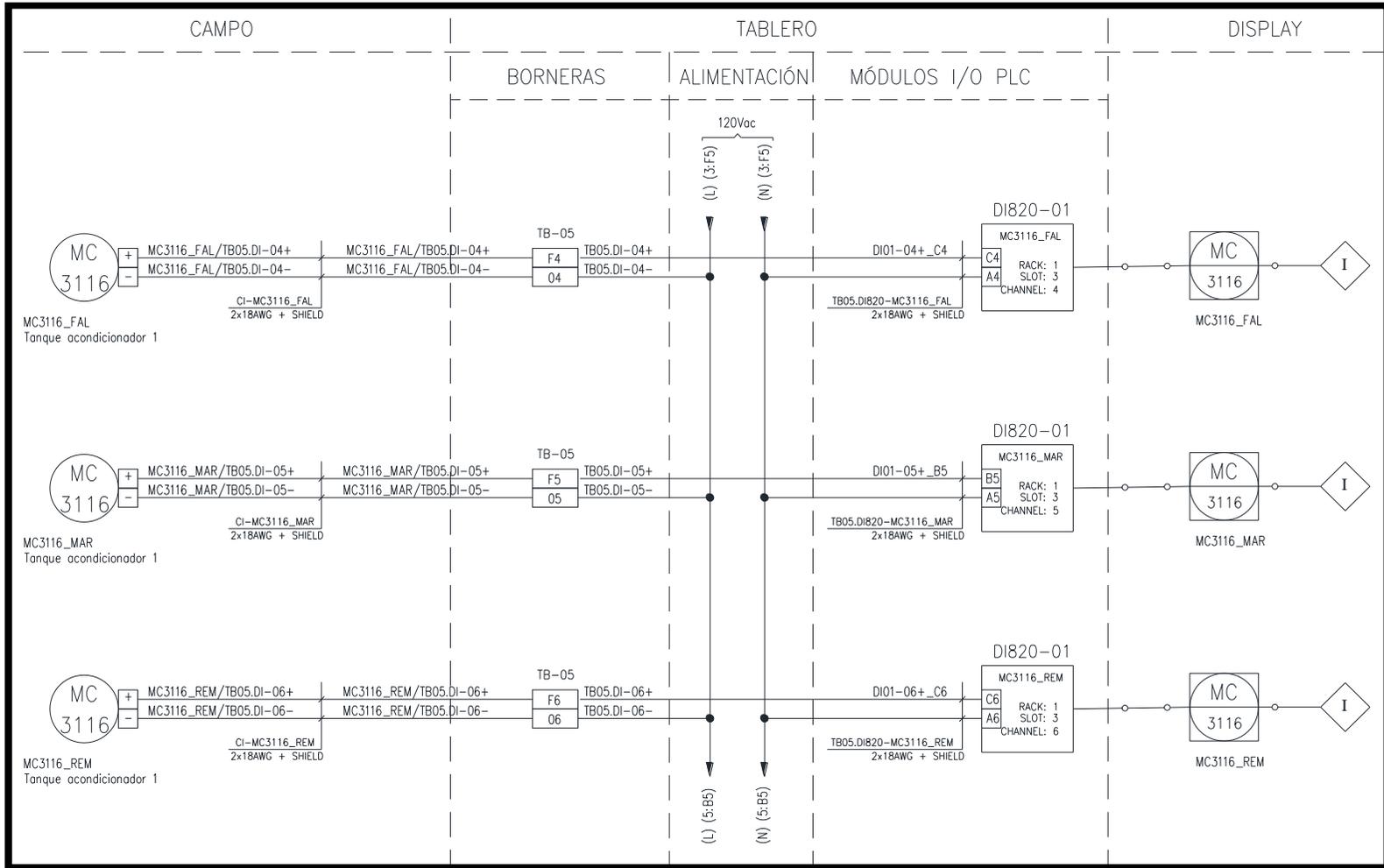
ANEXO Y. Propuesta Sistema de Control Automático, DI 820-1 “canales 1, 2,3” Diagrama de lazo



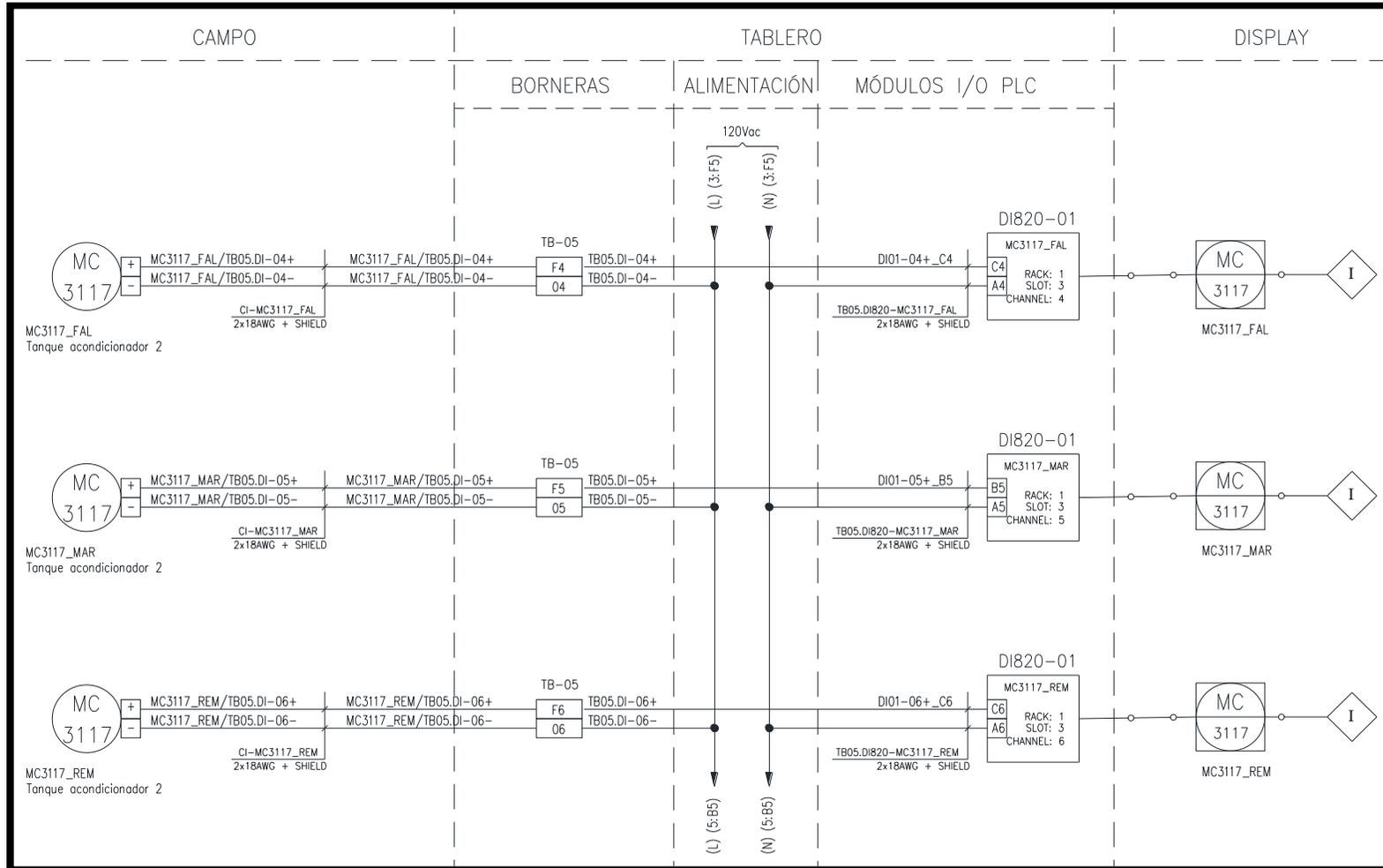
ANEXO Z. Propuesta Sistema de Control Automático, DI 820-1 “canales 6, 7,8” Diagrama de lazo



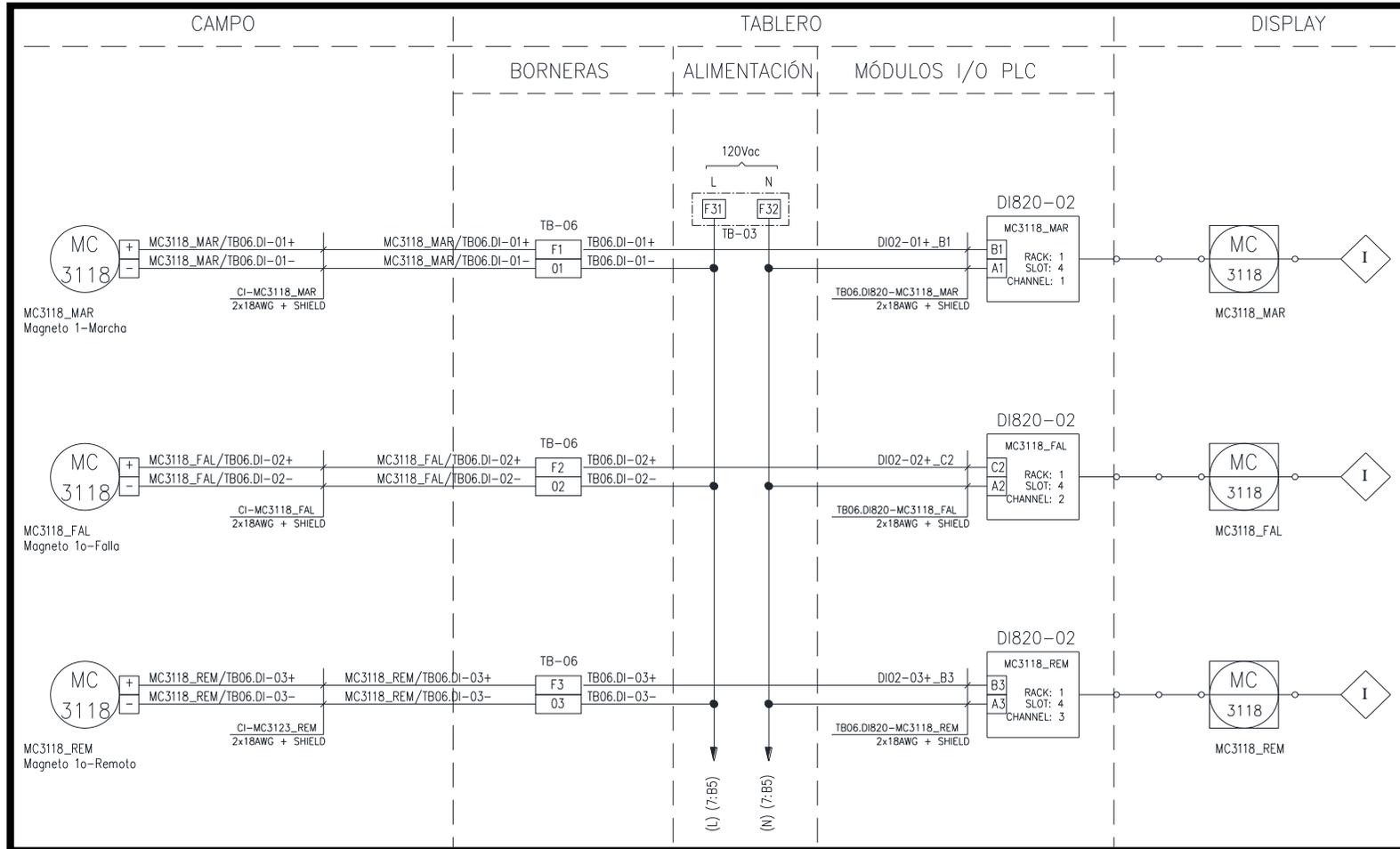
ANEXO AB. Propuesta Sistema de Control Automático, DI 820-01 “canales 4, 5,6” Diagrama de lazo



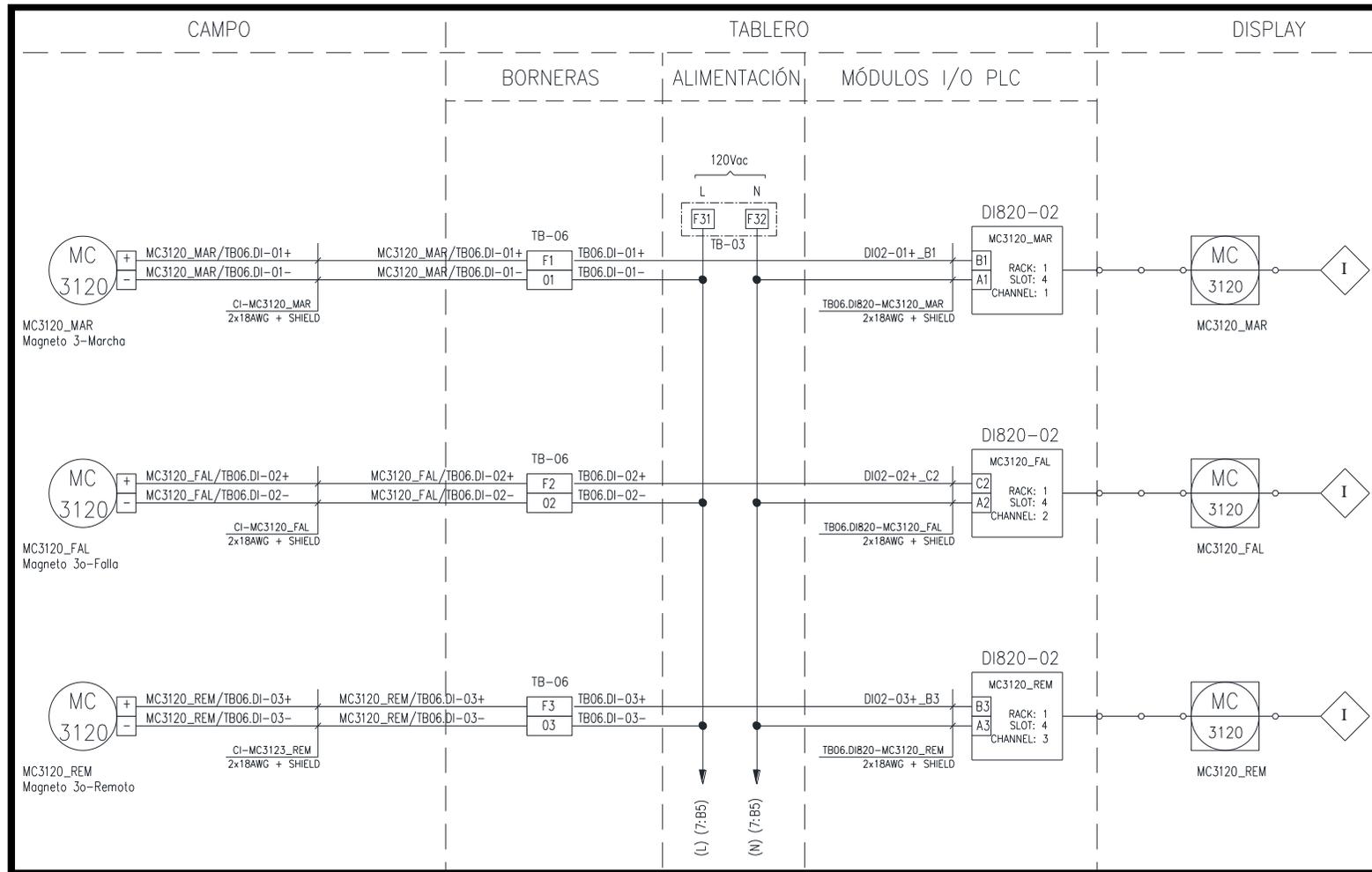
ANEXO AC. Propuesta Sistema de Control Automático, DI 820-01 “canales 4, 5,6” Diagrama de lazo.



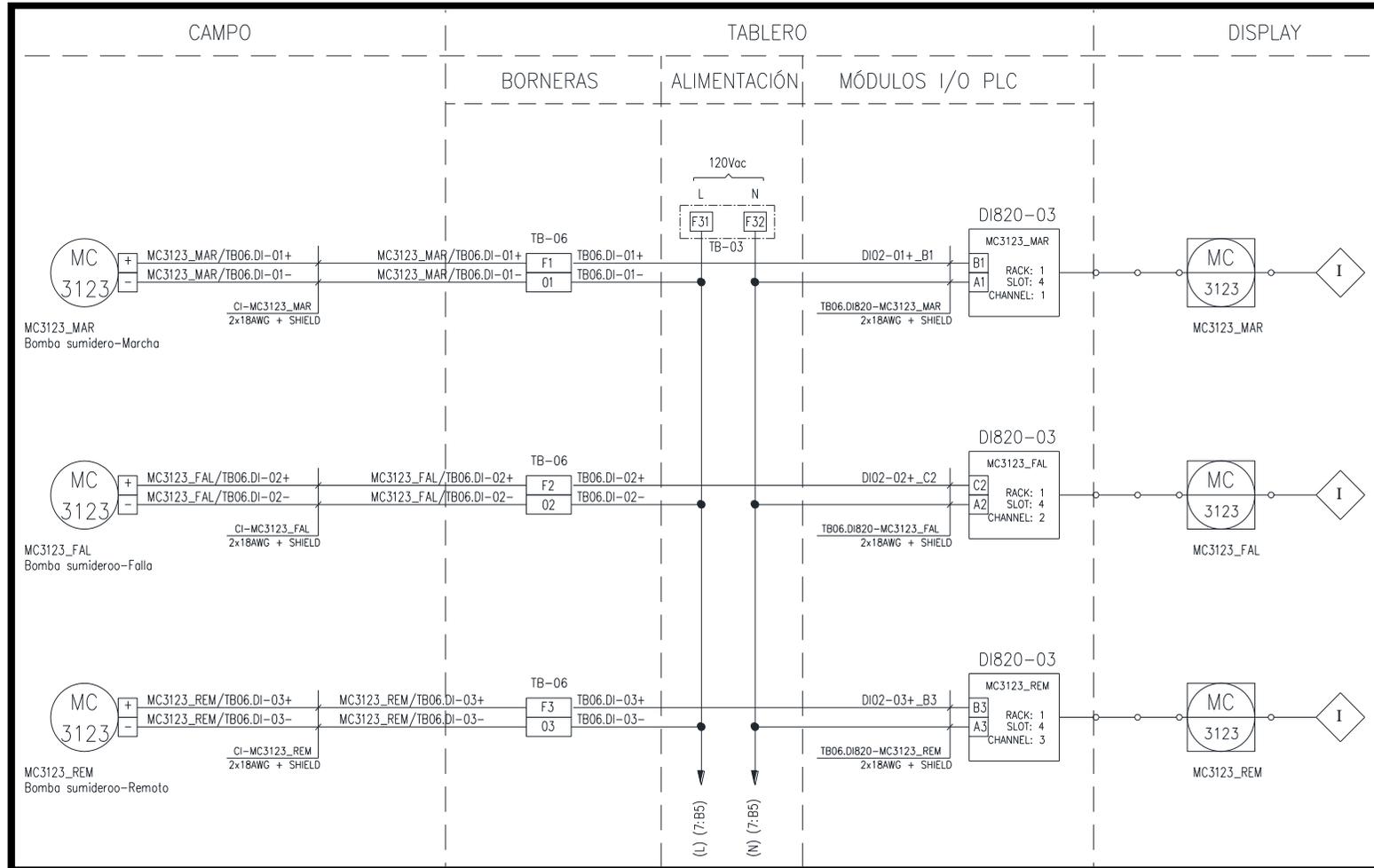
ANEXO AD. Propuesta Sistema de Control Automático, DI 820-02 “canales 1, 2,3” Diagrama de lazo.



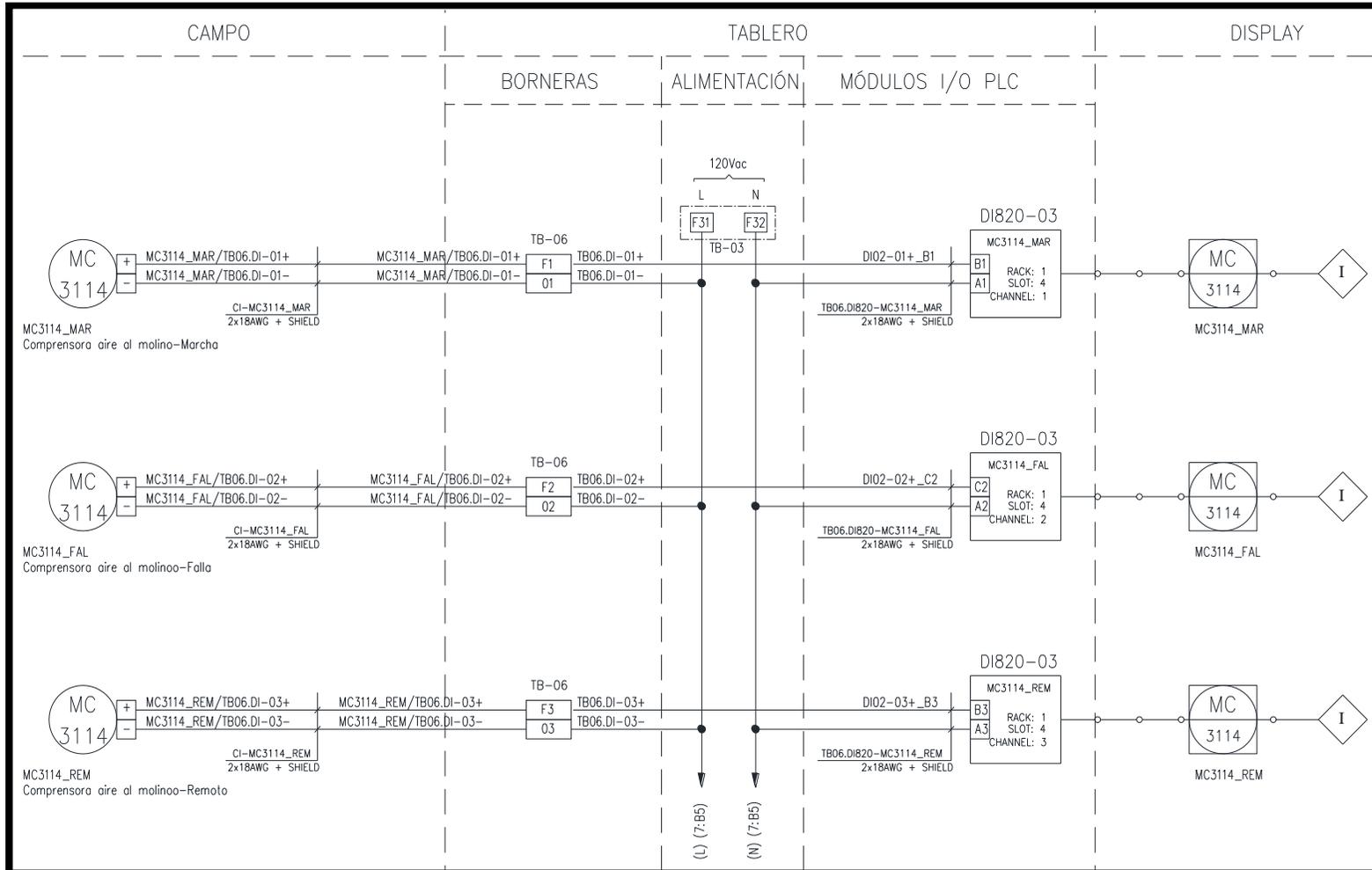
ANEXO AF. Propuesta Sistema de Control Automático, DI 820-02 “canales 7, 8,9” Diagrama de lazo.



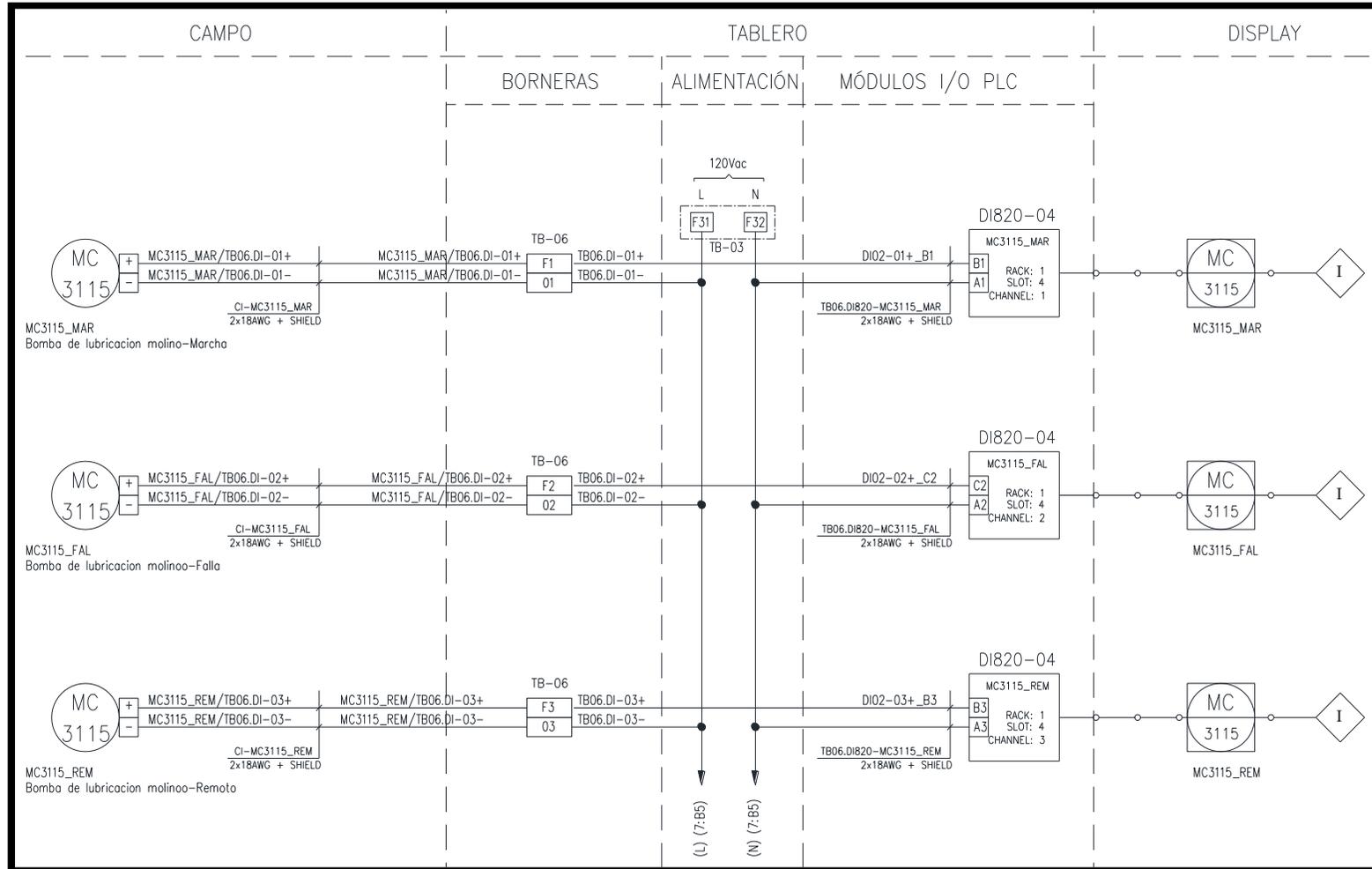
ANEXO AG. Propuesta Sistema de Control Automático, DI 820-03 “canales 1, 2,3” Diagrama de lazo.



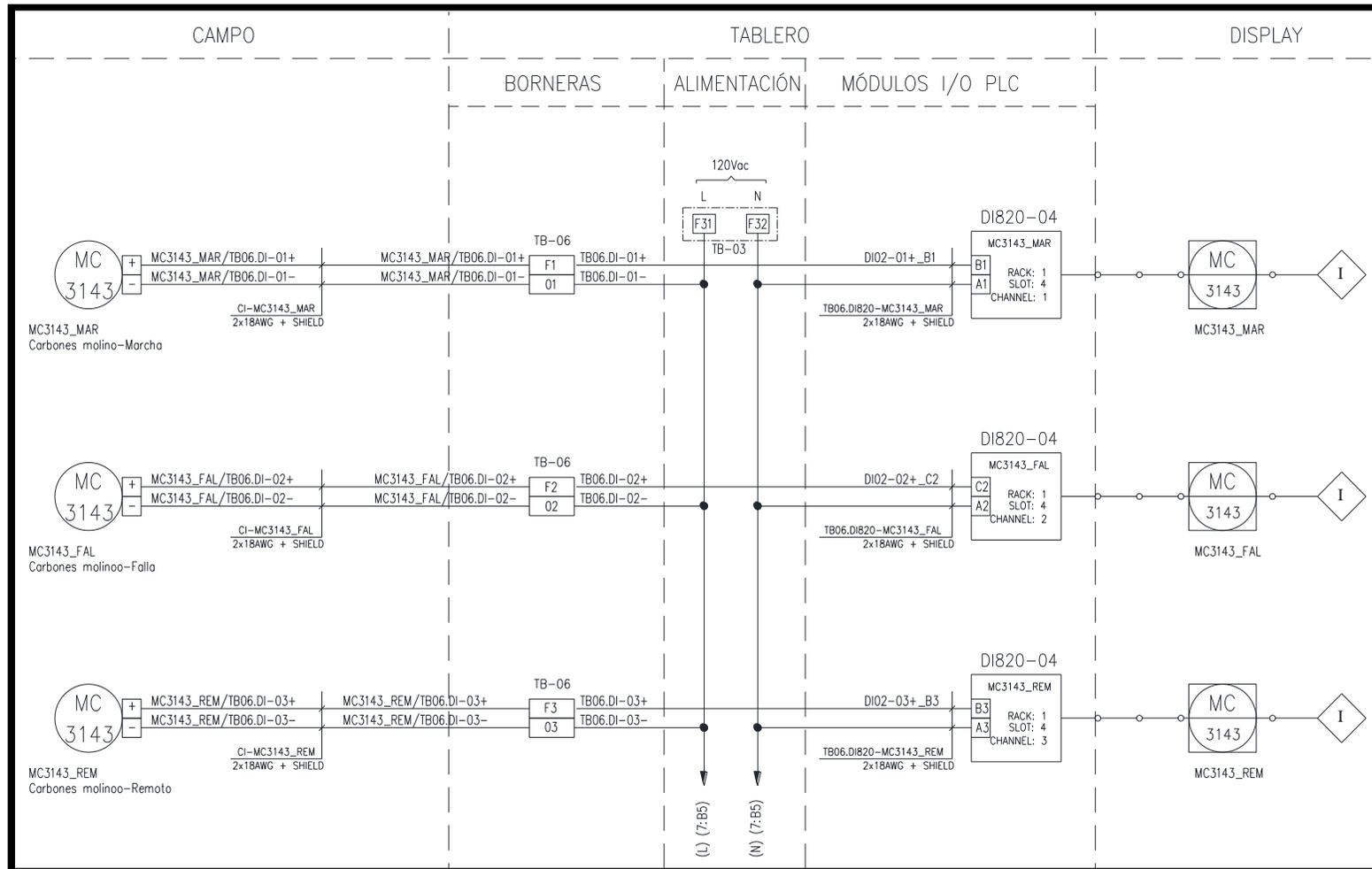
ANEXO AH. Propuesta Sistema de Control Automático, DI 820-03 “canales 4, 5,6” Diagrama de lazo.



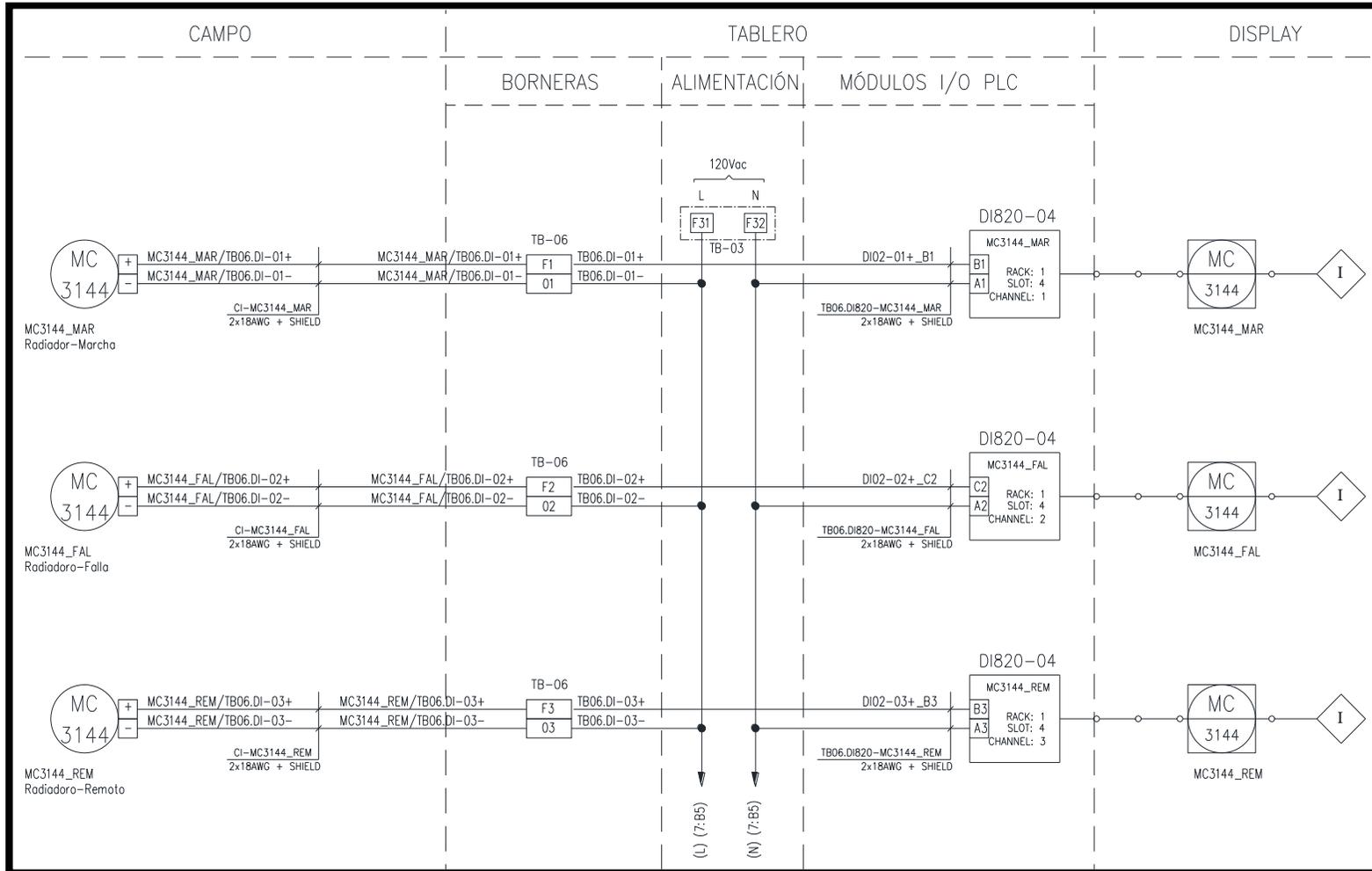
ANEXO AI. Propuesta Sistema de Control Automático, DI 820-04 “canales 1, 2,3” Diagrama de lazo.



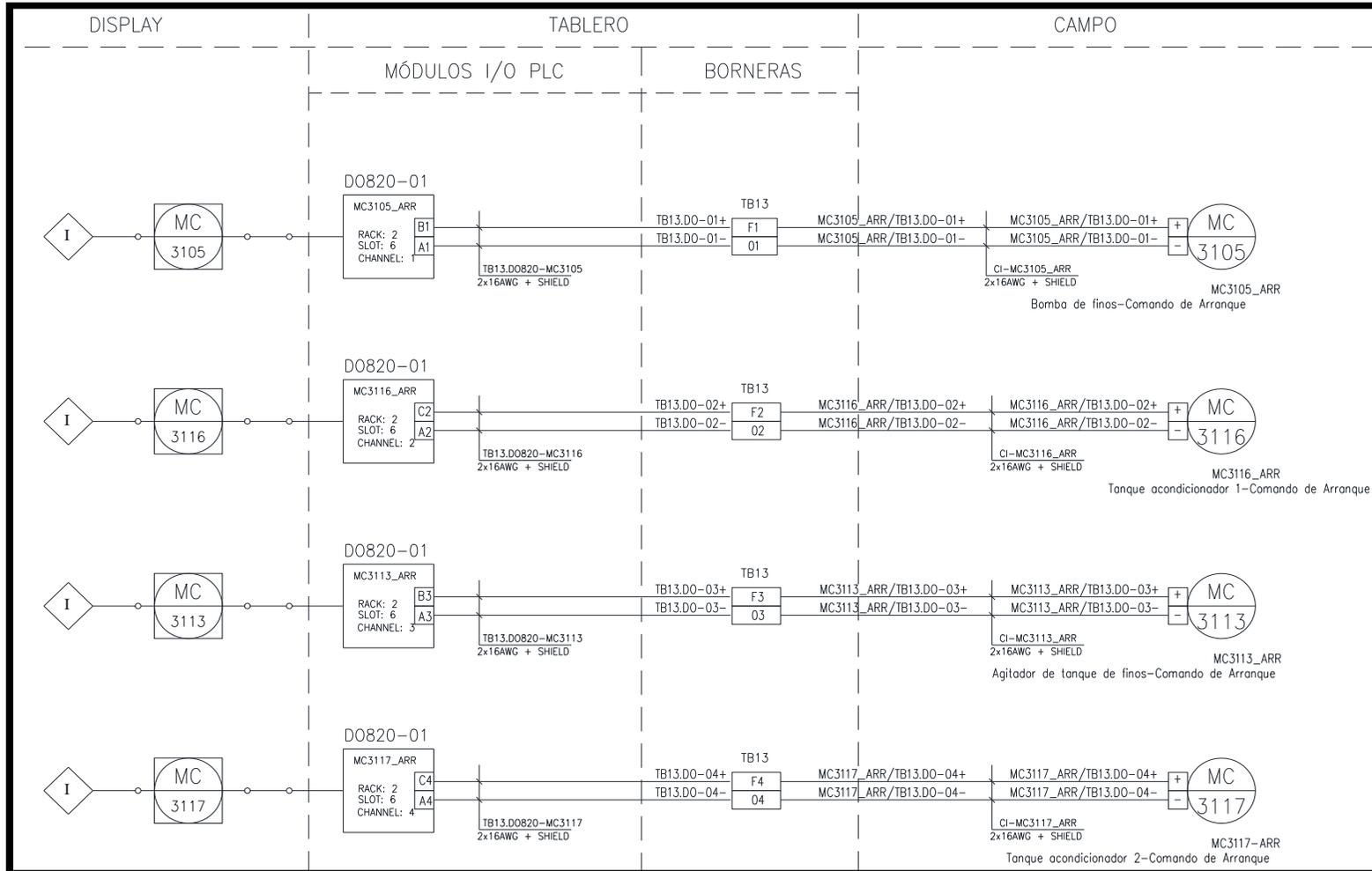
ANEXO AJ. Propuesta Sistema de Control Automático, DI 820-04 “canales 4, 5,6” Diagrama de lazo.



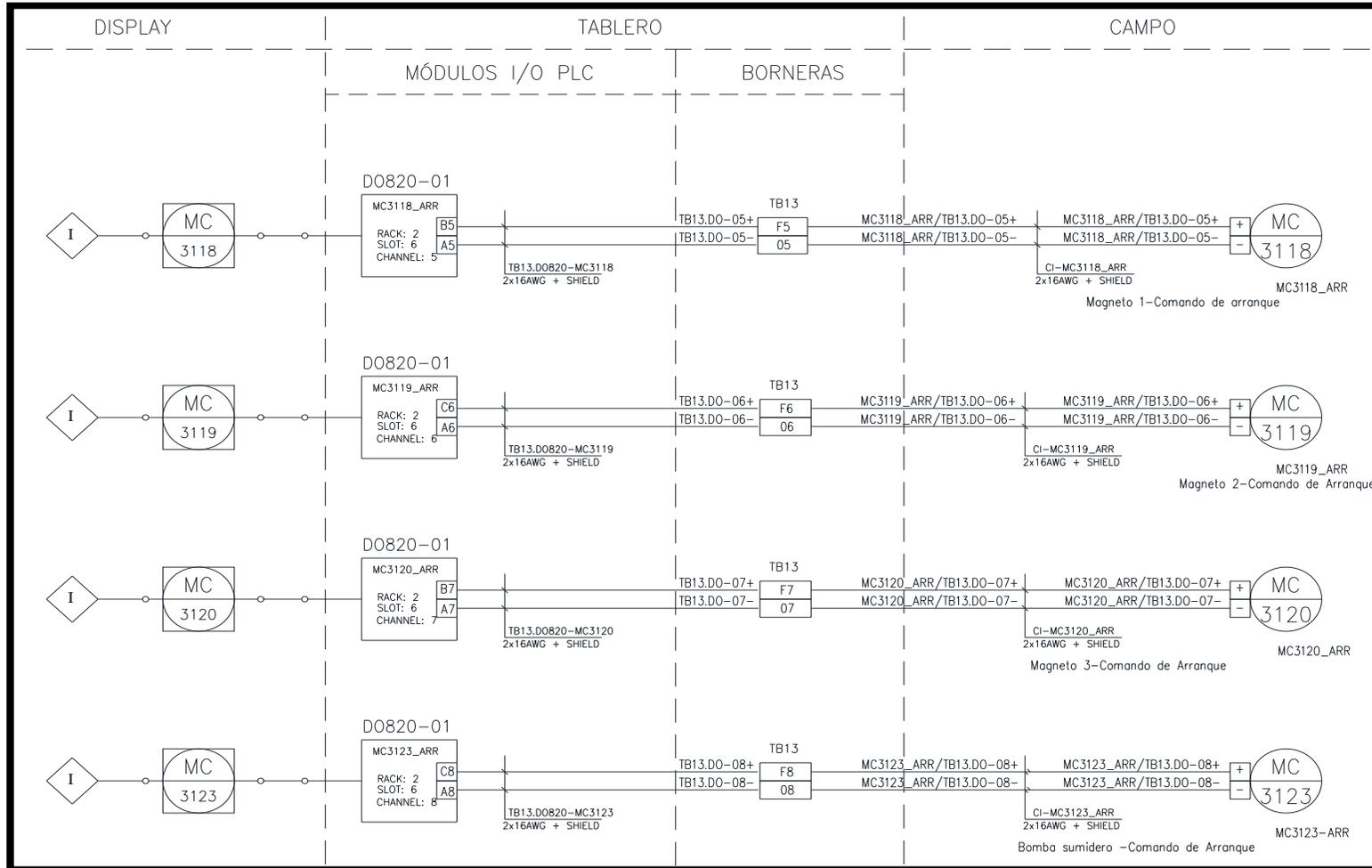
ANEXO AK. Propuesta Sistema de Control Automático, DI 820-04 “canales 7, 8,9” Diagrama de lazo.



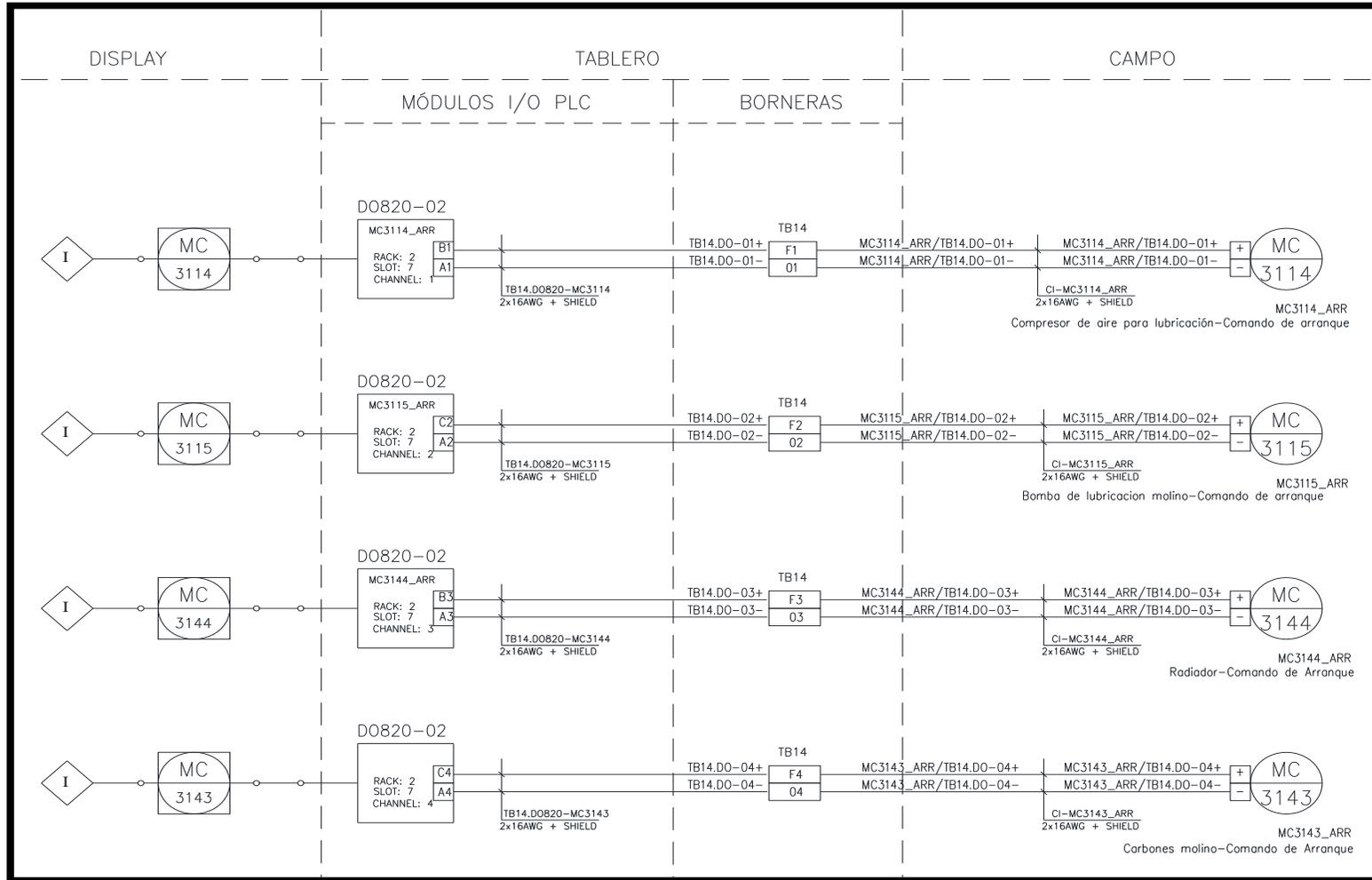
ANEXO AL. Propuesta Sistema de Control Automático, DO 820-01 “canales 1, 2, 3,4” Diagrama de lazo.



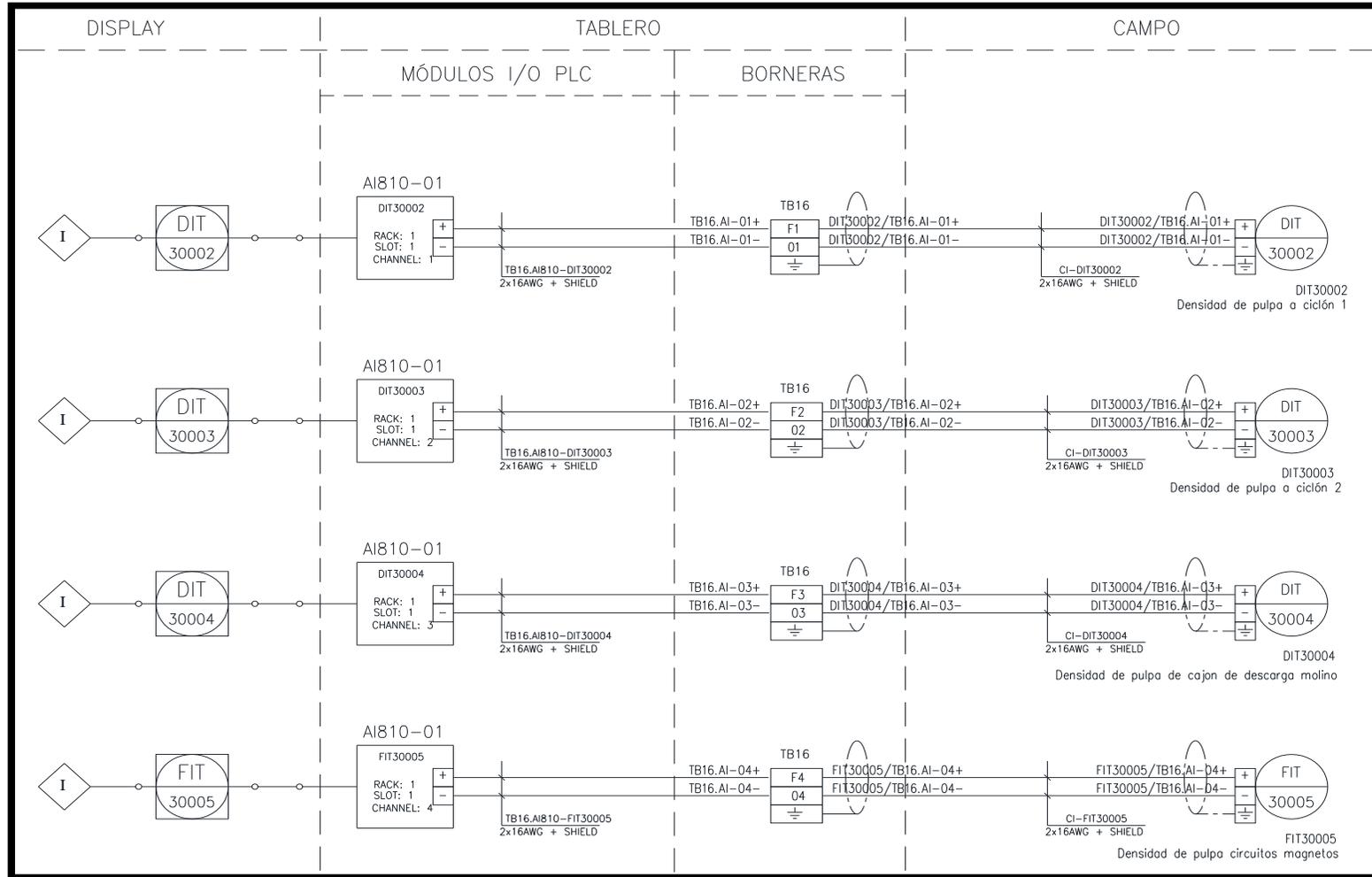
ANEXO AM. Propuesta Sistema de Control Automático, DO 820-01 “canales 5, 6, 7,8” Diagrama de lazo.



ANEXO AN. Propuesta Sistema de Control Automático, DO 820-02 “canales 1, 2, 3,4” Diagrama de lazo.



ANEXO AO. Propuesta Sistema de Control Automático, AI 810-1 “canales 1, 2, 3,4” Diagrama de lazo.



ANEXO AP. Propuesta Sistema de Control Automático, AI 810-1 “canales 5, 6, 7,8” Diagrama de lazo.

