

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creado por Ley N° 25265)



FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS

**SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA
MEJORAR LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE
LA RASTRA DE ESPESADOR CLARIFICADOR
DE MOLIBDENO, EN LA PLANTA
HIDROMETALÚRGICA DEL PROYECTO
TOROMOCHO - MINERA CHINALCO PERÚ S.A.**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:
BACH. GLICERIO GARCÍA RIVERA
BACH. WILFREDO GARCÍA RIVERA**

HUANCAMELICA, 2017



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



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas, a los 31 días del mes de MAYO del año 2018, a horas 9:00 se reunieron, el Jurado Calificador conformado de la siguiente manera:

Presidente: MSC. JORGE ATADOR VARGAS AQUILÉ
Secretario: MSC. JAVIER ALFREDO HERNÁNDEZ MORALES
Vocal M.G. EVERETH MANUEL RAYOS LAPA

Ratificados con Resolución N° 173-2018-FIES-UNH del proyecto de investigación (Tesis) Titulado: "SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE LA RASTRA DE ESPESADOR CLARIFICADOR DE KOURIPETRO, EN LA PLANTA HIDROMETALÚRGICA DEL PROYECTO TOROCHO - TINERA CHINALCO PERÚ-SA"

Cuyos autores son los graduado (s).

BACHILLER(S) WILFREDO GARCÍA RIVERA
GLICERIO GARCÍA RIVERA

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

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

APROBADO POR MAYORIA

DESAPROBADO

En conformidad a lo actuado firmamos al pie.



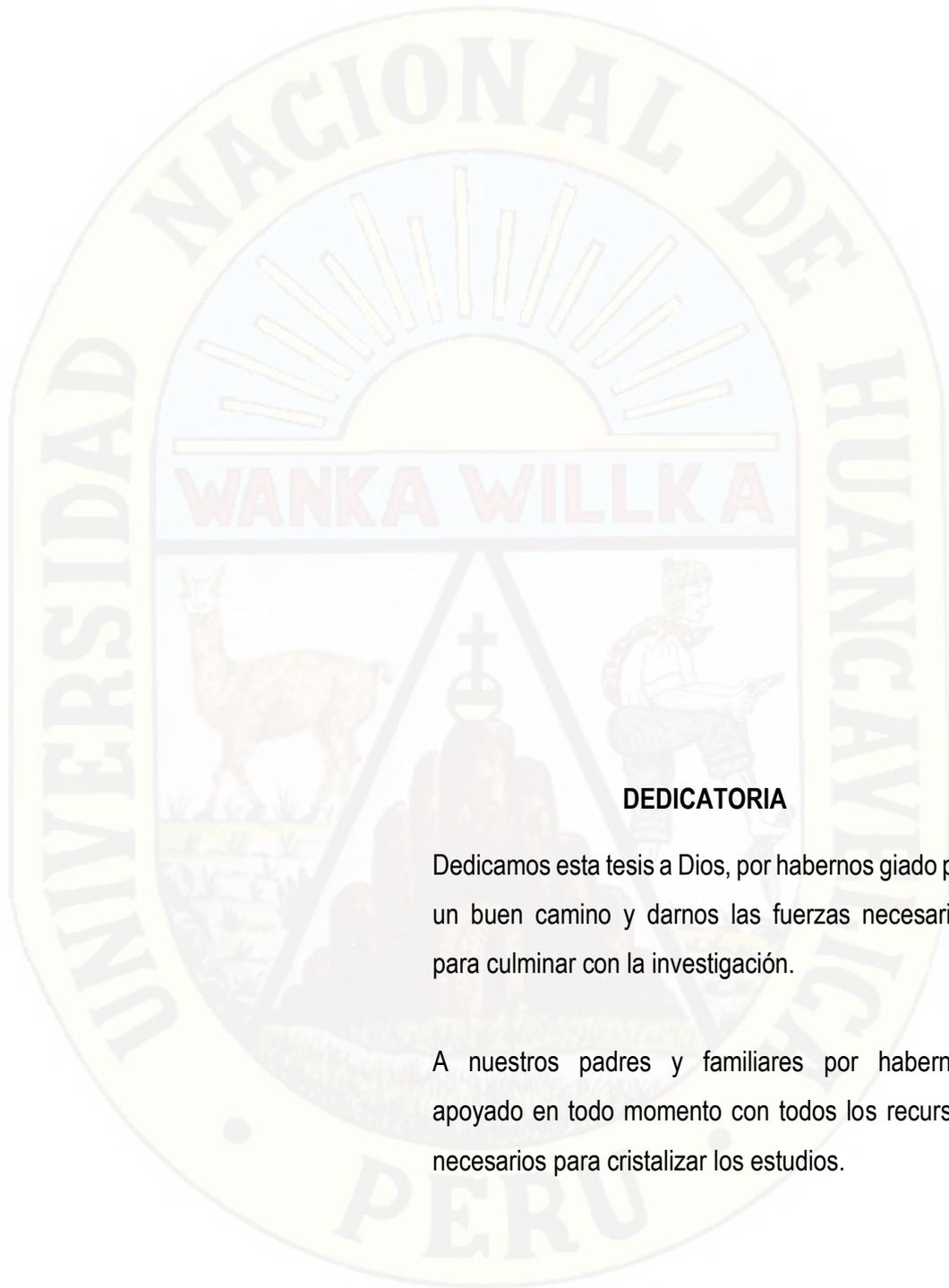
Presidente



Secretario



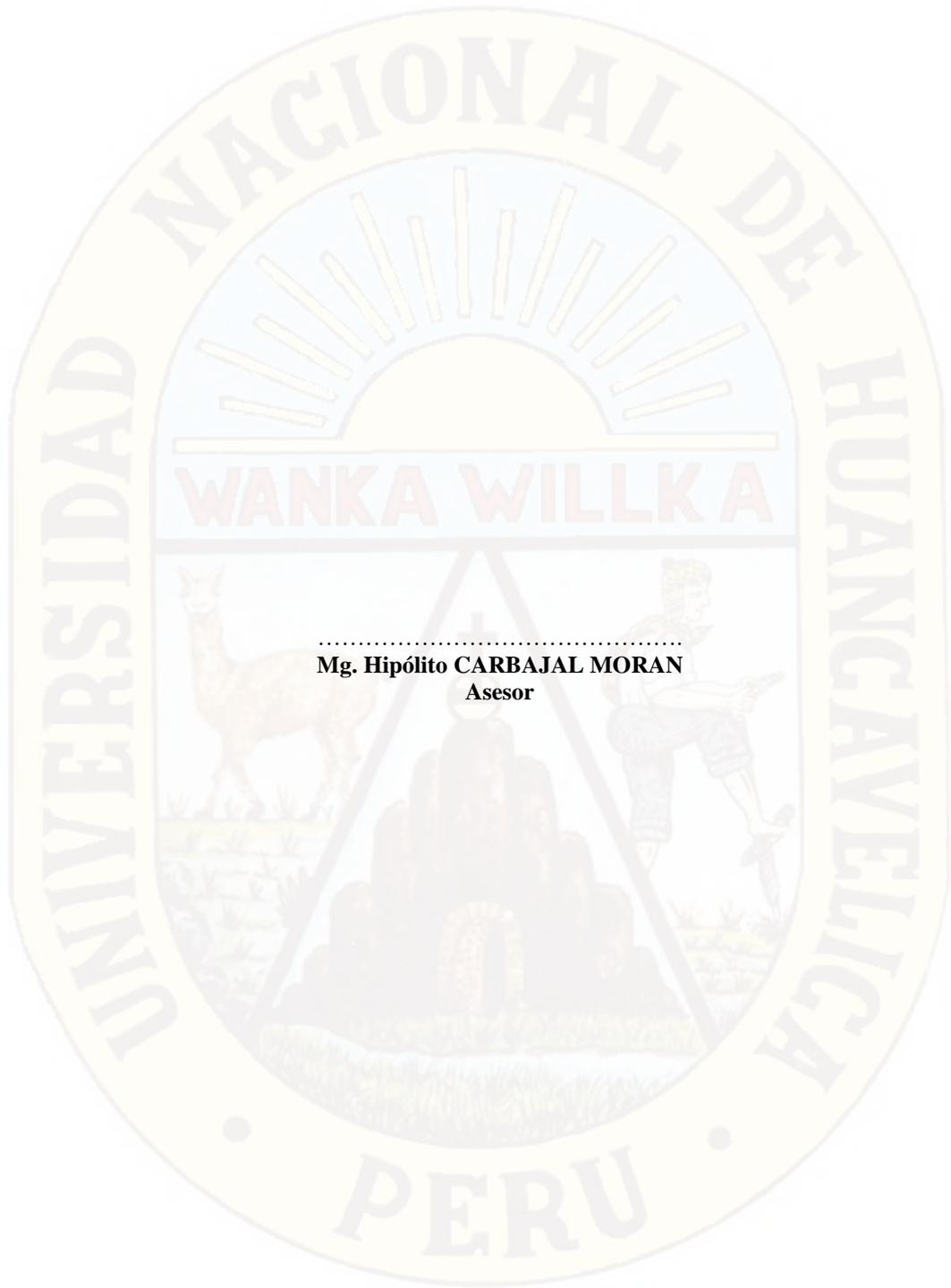
Vocal



DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis a Dios, por habernos guiado por un buen camino y darnos las fuerzas necesarias para culminar con la investigación.

A nuestros padres y familiares por habernos apoyado en todo momento con todos los recursos necesarios para cristalizar los estudios.



.....
Mg. Hipólito CARBAJAL MORAN
Asesor

RESUMEN

El problema que originó este trabajo de investigación fue: ¿Cómo mejorar la eficiencia de operación de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la Planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A., ya que el control manual de operación de la rastra presentaba varias paradas al día en el proceso de recuperación de molibdeno existiendo tiempos muertos de producción. Para solucionar el problema se planteó el siguiente objetivo: Diseñar e implementar un sistema de control automático para mejorar la eficiencia de operación de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A. La hipótesis planteada como solución al problema fue: El sistema de control automático mejora en más del 5 % la eficiencia de operación de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A. El tipo de investigación a la que pertenece esta investigación es aplicado, con un nivel explicativo, el método de investigación utilizado fue el experimental. Como resultado se tuvo el diseño e implementó del subsistema de control de torque, que permite controlar la presión equivalente al torque en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, entre 40 y 50 %, también se diseñó e implementó del subsistema de control de temperatura, logrando controlar la temperatura del aceite en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, en el rango de 40 °C a 45 °C, finalmente se diseñó e implementó el sistema de control de nivel, que permitió controlar el nivel de cama de sólidos espesados entre 90 y 100 cm. Como resultado: el sistema implementado permitió evidenciar que el sistema de control automático mejoró la eficiencia de operación, en más de 5 %, de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.

Palabras claves: Control automático, PLC, operación de rastra, espesador clarificador, micrologix 1100.

ABSTRACT

The problem that originated this research work was: How to improve the operation efficiency of the harrow in the clarifier thickener 284-TK-052 of molybdenum in the Hydrometallurgical Plant of the Toromocho Project - Minera Chinalco Perú SA ?, since the manual control Operation of the harrow presented several stops a day in the process of recovery of molybdenum existing dead times of production. To solve the problem, the following objective was proposed: Design and implement an automatic control system to improve the operation efficiency of the harrow in the clarifier thickener 284-TK-052 of molybdenum in the hydrometallurgical plant of the Toromocho - Minera Chinalco Peru S.A. The hypothesis proposed as a solution to the problem was: The automatic control system improves by more than 5% the operating efficiency of the harrow in the clarifier thickener 284-TK-052 of molybdenum in the hydrometallurgical plant of the Toromocho - Minera Chinalco Peru S.A. The type of research to which this research belongs is applied, with an explanatory level, the research method used was the experimental one. The result was the design and implementation of the torque control subsystem, which allows to control the pressure equivalent to the torque in the hydraulic tank that drives the harrow, between 40 and 50%, it was also designed and implemented the temperature control subsystem , managing to control the temperature of the oil in the hydraulic tank that drives the harrow, in the range of 40 ° C to 45 ° C, the level control system was finally designed and implemented, which allowed to control the bed level of solids Thickened between 90 and 100 cm. As a result: the implemented system made it possible to show that the automatic control system improved the operating efficiency, by more than 5%, of the harrow in the clarifier thickener 284-TK-052 of molybdenum in the hydrometallurgical plant of the Toromocho - Minera Chinalco Project Peru SA

Key words: Automatic control, PLC, dredge operation, clarifying thickener, micrologix 1100.

ÍNDICE

	<i>Página</i>
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4.1. Justificación económica.....	3
1.4.2. Justificación tecnológica.....	4
1.4.3. Justificación social.....	4
1.4.4. Justificación ecológica.....	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. ANTECEDENTES.....	5
2.2. BASES TEÓRICAS.....	12
2.2.1. Descripción de la Minera Chinalco Perú S.A.....	12
2.2.2. Tanque clarificador espesador.....	13
2.2.3. Rastra del espesador clarificador.....	13
2.2.3.1. Motor hidráulico de la rastra.....	14

2.2.3.2.	Tanque hidráulico de la rastra	15
2.2.3.3.	Válvula de control ON/OFF	16
2.2.3.4.	Medición del torque	16
2.2.3.5.	Presión equivalente al torque	17
2.2.3.6.	Interruptor del nivel de aceite de la unidad de poder	18
2.2.3.7.	Interruptor de temperatura	19
2.2.3.8.	Interruptor de desconexión del torque	19
2.2.3.9.	Interruptores de límite de elevador de rastra	20
2.2.3.10.	Indicador de altura de la rastra	21
2.2.4.	Detector de nivel de cama	21
2.2.5.	Transmisor de nivel de masa	22
2.2.6.	Elementos finales de control	23
2.2.7.	Leyes de la sedimentación (ley de Stokes).....	24
2.2.8.	Rangos de espesamiento	24
2.2.9.	Separación sólido-líquido.....	25
2.2.10.	Sedimentación por gravedad	26
2.2.11.	Flujo hidráulico en un espesador	26
2.2.12.	Espesamiento de concentrados.....	27
2.2.13.	Floculantes.....	28
2.2.14.	Coagulantes.....	30
2.2.15.	Molibdeno	30
2.2.16.	Eficiencia de operación.....	31
2.2.17.	Instrumentación propuesta.....	32
2.2.18.	Software Rslogix 500 8.40.00	34
2.2.19.	Software Factory Talk View 6.10.00 SE (Site Edition)	36
2.2.20.	Sistema de control automático.....	37
2.2.21.	Autómata programable PLC.....	38
2.2.21.1.	Familia de Allen Bradley	39
2.2.21.2.	Características Técnicas de Micrologix 1100	40
2.2.21.3.	Protocolos de Comunicación	41
2.2.22.	Diagrama de bloques del sistema.....	43

2.3.	HIPÓTESIS.....	43
2.3.1.	Hipótesis general	43
2.3.2.	Hipótesis específicas	43
2.4.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	44
2.5.	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	46
2.5.1.	Variable independiente	46
2.5.2.	Variable dependiente	46
2.6.	DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES.....	46
CAPÍTULO III.....		48
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		48
3.1.	ÁMBITO DE ESTUDIO	48
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	48
3.3.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	48
3.4.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	48
3.5.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	49
3.6.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	50
3.6.1.	Población	50
3.6.2.	Muestra.....	50
3.6.3.	Muestreo.....	51
3.7.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	51
3.8.	PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	52
3.9.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	52
CAPÍTULO IV		53
RESULTADOS		53
4.1.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	53
4.1.1.	Diseño del subsistema de control de torque en tanque hidráulico de impulsión de rastra en el espesador 284-TK-052	56
4.1.2.	Diseño del subsistema de control de temperatura de aceite en tanque hidráulico	58
4.1.3.	Diseño del subsistema de control de nivel de cama de sólidos espesados	59

4.1.4.	Implementación e integración de los subsistemas de control automático	60
4.1.4.1.	Instrumentación propuesta del proyecto.....	60
4.1.4.2.	Edición del programa.....	69
4.1.4.3.	Implementación de la interface HMI	78
4.1.4.4.	Descripción de las pantallas creadas	83
4.1.4.5.	Control local de panel.....	91
4.1.5.	Puesta en marcha de la rastra	92
4.2.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE OPERACIÓN DE LA RASTRA DEL ESPESADOR CLARIFICADOR DE MOLIBDENO.....	94
4.2.1.	Resultados de operación de la rastra del espesador clarificador de molibdeno.	94
4.2.2.	Resultados estadísticos.....	99
4.2.3.	Prueba de hipótesis	102
4.2.3.1.	Decisión de las pruebas de las hipótesis estadísticas:	104
4.3.	DISCUSIÓN.....	105
	CONCLUSIONES.....	106
	RECOMENDACIONES.....	107
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
	ARTÍCULO CIENTÍFICO	109
	ANEXOS.....	117
	ANEXO 1.- Matriz de consistencia.....	118
	ANEXO 2.- Planos de P&ID del espesador clarificador de molibdeno.....	120
	ANEXO 3.- Esquema eléctrico del sistema hidráulico del panel de control	121
	ANEXO 4.- Diagrama de conexiones al PLC Micrologix.....	123
	ANEXO 5.- Esquema eléctrico del módulo de entrada analógica	124
	ANEXO 6.- Diagrama de conexiones del panel de control	125
	ANEXO 7.- Esquema de conexión de resistencias calefactora del unidad hidráulica.....	126
	ANEXO 8.- Diagrama de mecanismo de la rastra hidráulica	127
	ANEXO 9.- Prototipo adquisidor de señales para control	128
	ANEXO 10.- Tablas de datos	129

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Página</i>
Tabla 2.1. Señal de presión equivalente al torque.....	18
Tabla 2.2. Instrumentación asociada a la rastra	34
Tabla 2.3. Operacionalización de las variables	47
Tabla 3.1. Instrumento de recolección de datos de pre y post-test.	51
Tabla 4.1. Torque de motor hidráulico y señal de corriente equivalente	54
Tabla 4.2. Temperatura de aceite en tanque hidráulico y señal de corriente equivalente transmitido a PLC.....	55
Tabla 4.3. Nivel de cama de sólidos espesados y señal de corriente equivalente transmitido a PLC.....	55
Tabla 4.4. Listado de instrumentos asociada a la rastra.	63
Tabla 4.5. Estadísticos de muestras independientes de la variable torque.	99
Tabla 4.6. Valor t de Student con las muestras independientes para la variable torque, para un valor de prueba de 45 %.	99
Tabla 4.7. Estadísticos de muestras independientes de la variable temperatura	100
Tabla 4.8. Valor t de Student con las muestras independientes de temperatura de aceite en tanque hidráulico, para un valor de prueba de 42.5 °C.....	100
Tabla 4.9. Estadísticos de muestras independientes de la variable nivel	101
Tabla 4.10. Valor t de Student con las muestras independientes de nivel de cama de sólidos espesados para un valor de prueba de 95 cm.....	101
Tabla 4.11. Eventos de apagado de motor hidráulico 284-TM-052-M1.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1. Ubicación del tajo abierto del proyecto Toromocho	12
Figura 2.2. Tanque clarificador espesador	13
Figura 2.3. Rastra del espesador clarificador	14
Figura 2.4. Motor hidráulico de la rastra	15
Figura 2.5. Válvula de control On/Off de tanque hidráulico de la rastra.....	16
Figura 2.6. Trasmisor de torque del tanque hidráulico de la rastra.....	17
Figura 2.7. Switch de nivel de aceite del tanque hidráulico de la rastra	18
Figura 2.8. Switch de temperatura alta y baja del tanque hidráulico de la rastra.....	19
Figura 2.9. Switch de torque del tanque hidráulico de la rastra	20
Figura 2.10. Switch de posición alta y baja de la rastra.....	20
Figura 2.11. Instrumentación del indicador de posición de la rastra.....	21
Figura 2.12. Medidor de nivel de cama del espesador clarificador.....	22
Figura 2.13. Transmisor de nivel de masa del espesador clarificador.....	23
Figura 2.14. Diagrama de un lazo de control.....	23
Figura 2.15. Diagrama simplificado de los rangos de espesamiento.	25
Figura 2.16. Flujo de fluido en un espesador.....	27
Figura 2.17. Espesamiento de concentrados	28
Figura 2.18. Proceso de floculación de partículas	29
Figura 2.19. Relación base floculante densidad de la descarga inferior.....	29
Figura 2.20. Plano diagrama de instrumentación P&D del espesador clarificador 284-TK-052	33
Figura 2.21. Programa en Rslogix 500 8.4.00 para el desarrollo de la lógica de control de la rastra.....	36
Figura 2.22. Software Factory Talk View para el desarrollo de la aplicación de control de la rastra.....	37
Figura 2.23. Diagrama de bloques de un sistema de control automático	38
Figura 2.24. Módulos Micrologix.....	39
Figura 2.25. Arquitectura de comunicación	42

Figura 2.26.	Diagrama de bloques del sistema	43
Figura 3.1.	Diagrama de bloques del diseño de investigación.....	49
Figura 4.1.	Diagrama general del sistema de control automático para la operación de la rastra del espesador clarificador de molibdeno.....	53
Figura 4.2.	Diagrama de flujo del subsistema de control de torque en tanque hidráulico de impulsión de rastra.....	57
Figura 4.3.	Programa en Rslogix 500 8.4.00 para el desarrollo de la lógica de control del sistema.....	58
Figura 4.3.	Diagrama de flujo del subsistema de control de temperatura de aceite en tanque hidráulico.....	59
Figura 4.4.	Diagrama de flujo del subsistema de control de nivel de cama de sólidos espesados.....	60
Figura 4.6.	Plano - diagrama de instrumentación P&D del espesador clarificador 284-TK-052 (Outotec).....	62
Figura 4.7.	Selección del procesador en Rslogix 500 Pro.....	69
Figura 4.8.	Subrutina principal.....	70
Figura 4.9.	Condición para habilitar el arranque.....	70
Figura 4.10.	Confirmación de la unidad hidráulica.....	71
Figura 4.11.	Confirmación de la rastra.....	71
Figura 4.12.	Confirmación de bajada de la rastra.....	71
Figura 4.13.	Escalamiento de Torque y nivel de cama.....	72
Figura 4.14.	Escalamiento de Nivel de cama y turbidez.....	72
Figura 4.15.	Confirmación de alarma en la unidad hidráulica.....	73
Figura 4.16.	Confirmación general de alarma.....	74
Figura 4.17.	Bit de prueba de componentes.....	75
Figura 4.18.	Mapeo de señales a sala de control principal.....	76
Figura 4.19.	Mapeo de señales a sala de control principal (continuación).....	77
Figura 4.20.	Mapeo de señales a sala de control principal (continuación).....	78
Figura 4.21.	Creación de nueva aplicación.....	79
Figura 4.22.	Propiedades de pantallas.....	79
Figura 4.23.	Importe de tags desde Micrologix 1100.....	80

Figura 4.24.	Selección de tag a visualizar	81
Figura 4.25.	Operaciones sobre tags a visualizar	81
Figura 4.26.	Parámetros de estado de indicadores de estado múltiple	82
Figura 4.27.	Tags agregados a registros de datos	83
Figura 4.28.	Pantalla inicial.....	83
Figura 4.29.	Panel de mando	84
Figura 4.30.	Pantalla de login/logout	85
Figura 4.31.	Horómetro	86
Figura 4.32.	Pantalla de reset de horómetro del espesador clarificador.....	86
Figura 4.33.	Pantalla de configuración	87
Figura 4.34.	Configuración de tiempos.....	88
Figura 4.35.	Configuración de alarmas.....	88
Figura 4.36.	Pantalla de alarmas.....	89
Figura 4.37.	Tablero de control.....	91

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<i>Página</i>
Gráfico 4.1. Señal de temperatura de aceite en tanque hidráulico en el proceso sin automatizar.	96
Gráfico 4.2. Señal de nivel de cama de sólidos espesados en el proceso sin automatizar.	96
Gráfico 4.3. Señal de torque del tanque hidráulico en el proceso sin automatizar.	97
Gráfico 4.4. Señal de temperatura de aceite en tanque hidráulico con el sistema de control automático implementado.	97
Gráfico 4.5. Señal de nivel de cama de sólidos espesados con el sistema de control automático implementado.	98
Gráfico 4.6. Señal de torque del tanque hidráulico con el sistema de control automático implementado.	98

INTRODUCCIÓN

El molibdeno se encuentra en muchas partes del mundo, pero pocos depósitos son lo suficientemente ricos para garantizar la recuperación de los costos. La mayor parte del molibdeno proviene de minas donde su recuperación es el objetivo primario de la operación. Para este objetivo la Minera Chinalco adquiere un sistema clarificador espesador, siendo uno de sus elementos la rastra del espesador clarificador que es un equipo hidráulico de acción mecánica que tiene por objetivo llevar el material depositado en el fondo del espesador hacia la abertura de descarga, además de mantener la fluidez en el interior del espesador. Esta rastra se instaló implementando inicialmente un sistema de control manual, presentado muchas fallas durante su operación lo que generó varias paradas en el proceso, de recuperación del molibdeno, por lo que fue necesario automatizar y mejorar la eficiencia de la rastra.

Con el desarrollo de la investigación, se ha llegado a demostrar que con la implementación del control automático de las variables: torque, temperatura y nivel, empleando controladores lógicos programables de la marca Allen Bradley CPU micrologix 1100, nos permitió mejorar la operación de la rastra, permitiendo la recuperación de tiempo muerto del proceso en la planta de recuperación de molibdeno en la empresa Minera Chinalco Perú, ubicada en el departamento de Junín. El sistema de control automático cuenta con tres subsistemas de control esto permitió la efectiva mejora de la eficiencia de operación de la rastra de espesador clarificador de molibdeno.

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

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

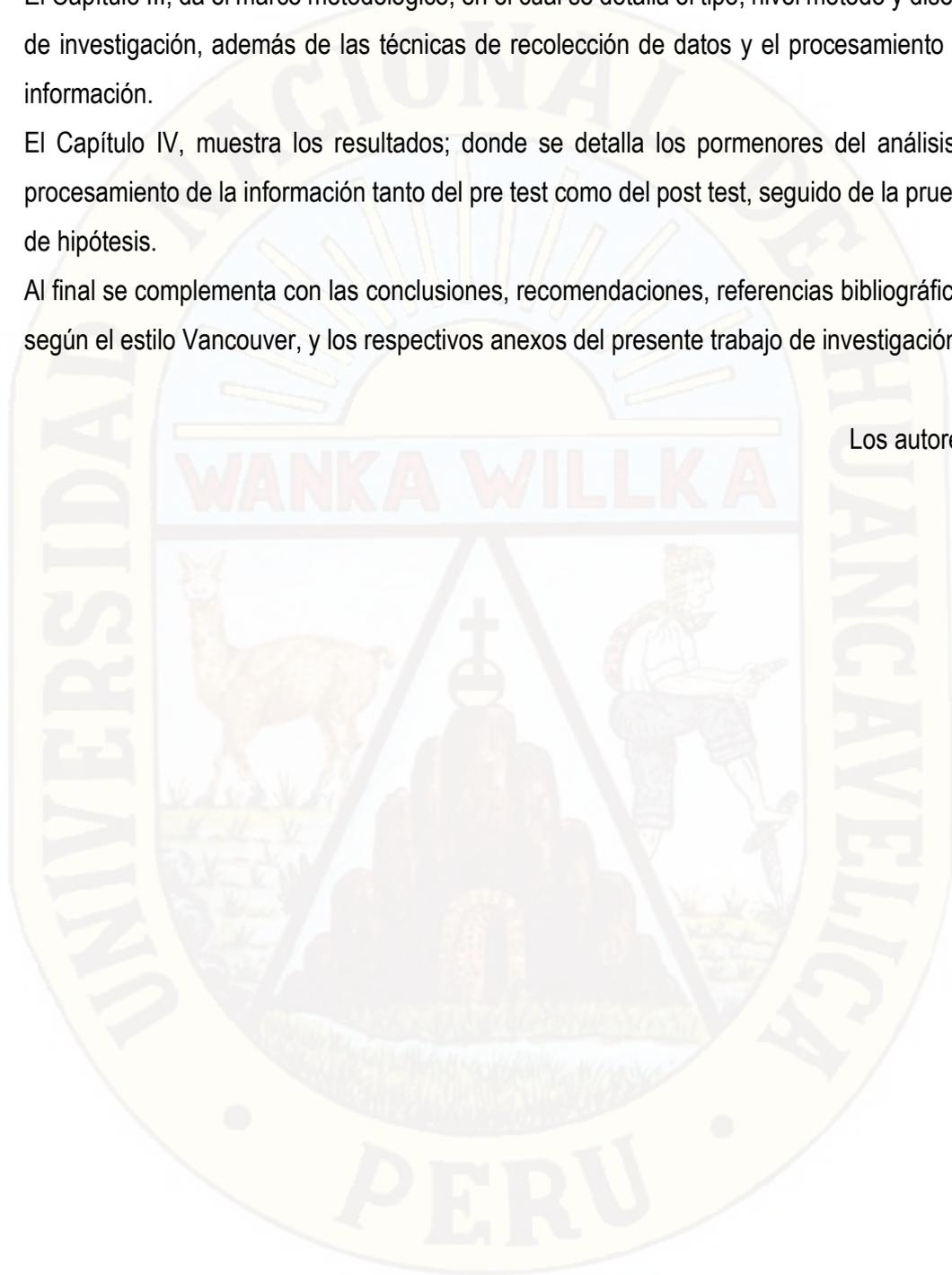
El Capítulo II, describe el marco teórico conceptual de la investigación; donde se aprecia primero los antecedentes y luego la información teórica relevante sobre las variables de estudio, sustentado en teorías y bibliografía actualizada y finalmente la definición de términos básicos utilizados en la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

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

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

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

Los autores.



CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el distrito de Morococha, provincia de Yauli, región Junín, al este de Lima, se ubica a 4,500 m.s.n.m. el Proyecto Toromocho, cuyas reservas de la mina asciende a más de 1,500 millones de toneladas de mineral (cobre, plata y molibdeno)¹. Cuenta con una planta concentradora de mineral y producirá, durante los 36 años de vida de operación, un promedio de 1,838 toneladas diarias de concentrado de cobre y 25.7 toneladas diarias de óxido de molibdeno. Sin embargo, la planta hidrometalúrgica en el tanque de recuperación, inicialmente contaba con una rastra con control manual, presentado muchas fallas durante su operación lo que generó varias paradas en el proceso de recuperación del molibdeno (ver anexo 11, tabla 11.1), ocurriendo, de acuerdo a lo registrado en la tabla 11.1 un total de 20 paradas durante una prueba en un lapso de tiempo aproximado de un día, lo que conlleva a tiempos muertos en desmedro de la eficiencia de la operación de la rastra. Esto ocurre debido a que no cumple con los protocolos y algoritmos de control deseados por el equipo de ingeniería, las variables preponderantes que influyen sobre la operación de la rastra son la temperatura de aceite en tanque hidráulico, nivel de cama de sólidos espesados y el torque del motor hidráulico. En cuanto al comportamiento de estas variables lo deseable es; que la rastra quede habilitada cuando la temperatura de aceite del tanque hidráulico supera los 18 °C, esta temperatura en condiciones normales de trabajo debe mantenerse en el rango de 40 a 45 °C, con un nivel de cama de sólidos espesados menor a 100 cm, por otro lado el torque del motor hidráulico no debe superar la presión equivalente a 1,087.5

¹ Ministerio de Energía y Minas (MEM)

psi que representa el 50% del torque máximo. Para cumplir con estos requerimientos es necesario contar con un subsistema de control de temperatura, un subsistema de control de nivel y un subsistema de control de torque. Por lo que se planteó este proyecto de investigación donde se diseña e implementa un sistema de control automático para mejorar la eficiencia de operación de la rastra de espesador clarificador de molibdeno, reduciendo la cantidad de paradas de la rastra de espesador clarificador de malibdeno en la planta hidrometalúrgica del proyecto Toromocho.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo mejorar la eficiencia de operación de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la Planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo mantener el torque en el tanque hidráulico de impulsión de rastra en el rango de 40 % a 50 %, con torque deseado de 45 %?
- ¿Cómo mantener la temperatura de aceite en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, en el intervalo de 40 °C a 45 °C, con temperatura deseada de 42.5 °C?
- ¿Cómo mantener el nivel de cama de sólidos espesados en el rango de 90 a 100 cm, con nivel deseado de 95 cm?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Diseñar e implementar un sistema de control automático para mejorar la eficiencia de operación de la rastra en el espesador clarificador 284-

TK-052 de molibdeno en la Planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar e implementar el subsistema de control de torque, para mantener el torque en el tanque hidráulico de impulsión de rastra en el rango de 40 % a 50 %, con torque deseado de 45 %.
- Diseñar e implementar el subsistema de control de temperatura, para mantener la temperatura de aceite en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, en el intervalo de 40 °C a 45 °C, con temperatura deseada de 42.5 °C.
- Diseñar e implementar el subsistema de control de nivel, para mantener el nivel de cama de sólidos espesados entre 90 y 100 cm, con nivel deseado de 95 cm.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Justificación económica

Al recuperar la máxima cantidad de concentrado de espumas de molibdeno (Mo) resultantes de la flotación en sus procesos de producción la empresa se posiciona como competitiva a nivel local, nacional y mundial. Este proyecto logrará resolver los problemas para los cuales se diseñó el sistema control para incrementar la rentabilidad de la minera Chinalco Perú S.A., mientras la mina está en operación, lo cual permitirá prolongar la vida útil del espesador clarificador existente, por ende, la reducción de los costos de mantenimiento y de operación por este concepto. Por otro lado, se reducirá el riesgo de falla de la rastra, cuyo costo asociado se ha identificado entre 100 a 200 mil dólares por otro lado, una falla en la rastra trae como consecuencia corporativa la disminución del valor accionario, como respuesta del mercado por los costos de limpieza, suspensión de operaciones y posibilidad de clausura de la operación, debido a accidentes,

esto sin considerar el deterioro en la reputación de la compañía y hasta la inhabilitación social para seguir operando.

1.4.2. Justificación tecnológica

El proceso de automatizar la rastra se realiza con un conjunto de técnicas basadas en sistemas capaces de recibir información de la operación de la rastra en el proceso de espesado y clarificado del molibdeno sobre el cual actúa. Se emplean instrumentos de campo de tecnología apropiadas tales como el controlador lógico programable (PLC); actuadores hidráulicos, eléctricos y neumáticos; sistemas de comunicación basados en Ethernet; software industrial para interface HMI. Por lo que el sistema de control que se diseñó e implementó está basado en tecnología emergente y sirve para dar solución al problema.

1.4.3. Justificación social

Las industrias y las organizaciones están cada vez más interesadas en alcanzar y demostrar un desempeño eficiente en sus operaciones y poder así mejorar calidad de sus productos y rentabilidad de la empresa, en base a su política y objetivos como empresa, y la minería no es un caso excepcional. Por ello, la Compañía Minera Chinalco Perú S.A. en materia del campo de producción con calidad tiene un compromiso ambiental y social para la reducción del impacto de toda su operación minera.

1.4.4. Justificación ecológica

El desarrollo de este proyecto propicia el uso del control eficiente lo que permite evitar pérdidas de material teniendo como ventaja ambiental más importante la conservación de las instalaciones en buenas condiciones para la disminución de la contaminación de suelos, aguas. También permitirá la reducción de la exposición directa de personas en sus operaciones, todo esto gracias a la automatización.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

El trabajo de investigación se desarrolló en base a investigaciones que se desarrollaron en universidades de: Chile, Guatemala, España, Colombia y Perú, en el orden siguiente:

Torres H. Control de Espesadores-Clarificadores y Simulación Numérica Bidimensional de Procesos de Sedimentación [Tesis de postgrado para optar el grado de doctor en ingeniería matemática aplicada]. Universidad de Concepción. Chile; 2011.²

El objetivo principal de esta tesis es el desarrollo y análisis de métodos numéricos para la aproximación de procesos de sedimentación en espesadores-clarificadores en una y dos dimensiones. Específicamente, se estudia la aproximación por volúmenes finitos de problemas de sedimentación en espesadores-clarificadores. Principalmente la tesis consiste de tres trabajos. Por un lado, en el primer trabajo, para procesos de sedimentación modelados en primer orden, se proponen métodos de segundo orden para espesadores-clarificadores. La idea principal es controlar el término de corrección para el segundo orden, obteniendo un nuevo algoritmo llamado esquema FTVD. Este nuevo esquema FTVD tiene propiedad TVD para el flujo numérico. Por otro lado, dentro de la modelación bidimensional primero consideramos el problema de sedimentación batch un canal inclinado. El modelo está dado por una ecuación hiperbólica para la concentración y las ecuaciones de Stokes para la velocidad y presión. Para la concentración se utilizó un método

² Hallado en: <http://www.ci2ma.udec.cl/publicaciones/tesisposgrado/graduado.php?id=4>, referenciado el 12 de octubre de 2014.

adaptativo debido a las características de la solución para la concentración. Por otro lado un método estabilizado con la teoría de Brezzi-Pitkaranta es usado para Stokes. Finalmente, dentro del modelamiento bidimensional, se considera un problema asimétrico. Acá estamos interesados en modelar el comportamiento del sedimento en un espesador-clarificador. El modelo consiste ahora en un sistema acoplado de una ecuación parabólica y ecuaciones de Stokes. Simplificando las ecuaciones tridimensionales, usando coordenadas cilíndricas obtenemos un problema bidimensional. Un método de volúmenes/elementos finitos es usado para la discretización espacial, construido en las bases de una formulación de Galerkin discontinuo estabilizado para la concentración y un par estabilizado multiescala de elementos P1-P1.

Ochoa C. Propuesta para automatización del proceso de clarificación por medio de controladores de lazos múltiples [Tesis para la obtención del título de ingeniero Mecánico Electricista]. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala; 2008.³

En la investigación se describe los sistemas de clarificación existentes, funcionando con tecnologías y procedimientos de operación obsoletos, que no garantizan la buena calidad de la meladura en etapas posteriores de producción. El principal objetivo de la clarificación es eliminar la máxima cantidad de impurezas en la etapa más temprana del proceso, que permitan las otras consideraciones del mismo, tales como la claridad y reacción del jugo claro. En la fabricación, la cal y el calor son prácticamente los únicos agentes que se utilizan con este fin, aunque generalmente se añade una pequeña cantidad de fosfato soluble. La fabricación de azúcares para consumo directo (es decir, azúcar blanca, “granulado de plantación”, “azúcar morena”, o cualquier otro tipo de azúcar no refinada que se destina al consumo) requiere el uso de otras sustancias químicas además de la cal. Buscando solucionar este problema, se propone la automatización del proceso mencionado por medio de elementos de campo, controladores de lazos múltiples y elementos finales de control para buscar lograr mejorar la eficiencia del sistema de clarificación. Así, con

³ Hallado en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0153_ME.pdf, referenciado el 12 de octubre de 2014.

un proceso controlado sumado a una metodología de proceso adecuada, se podría lograr una operación más estable y consistente, traduciéndose en mayor capacidad de procesamiento, mejor calidad y menor costo en insumos químicos y energéticos.

Ortega A, Bella A, Auría A, José M. Estudio y diseño de equipo clarificador de agua por el sistema DAF y su equipo de tratamiento. Universidad de Zaragoza, Escuela de Ingeniería y Arquitectura. España; 2013.⁴

Este proyecto en colaboración con empresa privada tiene como último objetivo desarrollar una gama de equipos de flotación por aire disuelto (DAF) que sea capaz de procesar el agua residual generada en industrias aceiteras. Cada industria emite distintas cantidades (caudales) de influentes de muy diversas composiciones. Siendo así, la empresa pretende adaptarse a las necesidades de cada cliente desarrollando una gama de flotadores por aire disuelto capaces de eliminar la cantidad de aceites y sólidos hasta los límites de vertido que establece la legislación. La empresa dispone de gran experiencia en la utilización de este tipo de equipos, pero pretende conocer y dominar la técnica de diseño para generar tecnología propia. Para ello, el autor de este proyecto ha analizado la extensa bibliografía científica referente a la flotación por aire disuelto y ha diseñado un equipo piloto de flotación para el tratamiento del caudal de una industria que emite vertidos con elevada cantidad de aceites y grasas. De este modo podrá comprobarse si la técnica estudiada funciona y a partir de ahí se podrán asentar las bases de una futura gama de clarificadores. El objetivo concreto de este proyecto es desarrollar un equipo de clarificación de aguas residuales mediante el proceso de flotación por aire disuelto (DAF). El proyecto consta principalmente de dos equipos: el primero es un floculador en línea (serpentín) cuya función consiste en la preparación o acondicionamiento de las aguas a tratar mediante la inyección de productos químicos y el segundo es el tanque DAF, en cuyo interior se produce todo el proceso de flotación. La máquina es diseñada para separar todo tipo de sólidos y grasas contenidas en el agua en forma de partículas o coloides en estado de suspensión. Esto es primordial para infinidad de aplicaciones, tanto industriales

⁴ Hallado en: <http://zagan.unizar.es/record/10283>, referenciado el 12 de octubre de 2014.

como municipales, bien para recuperar los sólidos valiosos, evitando su pérdida en un efluente industrial (por ejemplo, las fibras de celulosa en la Industria Papelera), o bien para clarificar el líquido, reduciendo al máximo los sólidos en suspensión (por ejemplo, el agua potable).

Constanza L, Rojas C. Diseño preliminar de un clarificador para el tratamiento de las aguas residuales de la planta de aguas de Colombia [Tesis para optar el título de ingeniero químico]. Fundación Universidad de América, Facultad de Ingeniería. Colombia 1998.

El estudio que se realizó tiene como objetivo principal proponer un sistema de tratamiento primario para aguas residuales domésticas que reemplace con eficiencia los denominados pozos sépticos disminuyendo así las cargas contaminantes arrojadas al medio ambiente. Para tal fin se escogieron como alternativas de estudio las operaciones físicas unitarios de sedimentación, precipitación química y aireación, por su simplicidad operativa. Cada proceso se analizó individualmente encontrando así los parámetros de funcionamiento del equipo, diseñado a partir de la cantidad de agua residual de la planta de aguas de Colombia y su carga contaminante, El diseño encontrado demuestra una eficiencia teórica de remoción de SS del 91% y de DBO del 88% excedido así la normatividad para vertidos de ARD del Ministerio de Salud.

Bahamonde G. Diseño de estrategias de control para espesadores [Tesis para optar el título de ingeniero Civil-Electrónico]. Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Electrónica. Chile; 2009.⁵

Se realiza una breve descripción del problema físico y modelación mediante una ley de conservación fuertemente degenerada. Se presenta un método numérico para obtener soluciones aproximadas de problemas provenientes de un proceso continuo de sedimentación -consolidación de suspensiones dentro de un Espesador-Clarificador, obteniendo óptimos resultados tanto en modo batch como

⁵ Hallado en: <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/123456789/853>, referenciado el 13 de noviembre de 2014.

modo continuo, asemejando el modelo al comportamiento real del proceso. Estos procesos se utilizan para lograr la separación de una suspensión de pequeñas partículas suspendidas en un líquido viscoso, en sus componentes sólido y líquido bajo la acción de la fuerza de gravedad, ayudados de la acción de un polímero llamado floculante, cuya función principal es aumentar la velocidad de sedimentación formando mayores masas o floculos de partículas que caen hacia el fondo del espesador más rápidamente. Estos procesos se usan ampliamente en la industria minera, por ejemplo para recuperar el agua de las suspensiones que salen de los procesos de flotación, recuperación de agua en procesos de la minería, purificación de aguas domiciliarias, entre otros procesos. A partir de la resolución numérica del proceso aplicada, se realiza un análisis en lazo abierto de éste para ver el comportamiento principal es que para el tipo de material que se está trabajando, la adhesión de floculante no genera grandes cambios en la concentración de descarga ni en el proceso en general, no siendo un parámetro considerable para controlar el proceso. Para el caso de la concentración de descarga se observa que existe un alto grado acoplamiento de este parámetro con el flujo de descarga. Finalmente se implementó una estrategia de control de tipo fuzzy de masa, altura y presión, obteniendo resultados positivos a cambios de referencia para los tres casos, comportándose el sistema como un sistema de primer orden. Para el caso de control de masa éste se comporta como un control de altura y al revés. Para el control de presión se concluye que éste logra el objetivo logrado, pero abriendo una serie de cuestionamientos respecto a si la presión que se está controlando es la presión de fondo que se quiere controlar, ya que no existen ecuaciones claras o mucha información que explique el comportamiento o impacto de la presión en el proceso. Considerando lo anterior mencionado el modelo numérico y los controles implementados para el proceso de sedimentación - consolidación logra un acercamiento satisfactorio a la realidad, no olvidando que las consideraciones de éste fueron ideales.

Daniel F. Lovera D, Palomino A. Modelamiento de la fenomenología del espesamiento en el tratamiento de relaves metalúrgicos. Revista del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM. Julio – diciembre 1999, Vol. 2, N.º 04.⁶

En la revista se plantea las estrategias avanzadas para el diseño de tecnologías limpias que se caracterizan por reducir las emisiones de desechos, disminuyendo la generación de ellos en la fuente misma e implementando medidas para reducir el consumo de aguas, recuperar los recursos materiales y energéticos a través de reciclaje e integración de procesos y una selección adecuada de las materias primas. Junto a ello, se ha puesto énfasis en el desarrollo de prácticas efectivas de gestión ambiental. El diseño de procesos limpios se basa en el uso de las herramientas clásicas de la ingeniería, para concebir un esquema de producción que considere tanto los aspectos técnico-económicos como los ambientales. Dichos objetivos son compatibles, ya que el impacto ambiental puede, en parte, ser reducido aumentando la productividad global del proceso. En muchos casos modificaciones con bajos requerimientos de capital han derivado en significativos incrementos en la productividad y una reducción en la generación de desechos. En ese contexto la presente investigación muestra la fenomenología de la separación sólido-líquido para optimizar el manejo de los relaves y la recuperación y/o posterior tratamiento del agua de proceso en las plantas metalúrgicas, de tal forma que el espesador que actúa como un pulmón pueda trabajar óptimamente, podemos encontrar las propiedades fisicoquímicas y reológicas de las pulpas. Así mismo que serán útiles para establecer su adecuada disposición final.

⁶ Hallado en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/download/2146/1861>. Referenciado el 12 de octubre de 2014.

Balta R, Vásquez C. Diseño del sistema de control automático del proceso de retratamiento del relave en la Unidad Minera Orcopampa de la empresa Buenaventura [Tesis para optar el título profesional de ingeniero electrónico]. Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica. Trujillo; 2010.⁷

En la tesis se analiza la unidad minera Orcopampa de la Compañía Buenaventura, y se determina que el proceso de extracción de oro es poco eficiente ya que la planta no se encontraba automatizada. De tal manera que un porcentaje de oro se desperdiciaba en los relaves y con los años se iba acumulando, entonces se tuvo que automatizar la planta para poder mejorar la eficiencia de este proceso. El análisis a los relaves acumulados demostró un porcentaje considerable de oro por cada tonelada, entonces se construyó la planta de retratamiento de relaves. Esta planta no está automatizada de tal manera que la recuperación de oro no es tan eficiente; por lo que, es necesario automatizar esta planta para mejorar la eficiencia. Se dio a conocer los conceptos básicos de sistema de control clásico, así como arquitectura de control, sistema de monitoreo, relaves, espesadores, componentes químicos que se usarán en el proceso como: cianuro, carbón activado, etc. todo esto con el fin llegar a los objetivos planteados y la comprensión del proceso. Se diseñaron los lazos de control apropiados, cada lazo está en función a valores o parámetros establecidos por diseños o cálculos anteriores lo cual permite analizar el funcionamiento de cada subproceso de la planta y así poder realizar la selección de instrumentos y equipos adecuadamente. Se dio paso al sistema de arquitectura de control y en conjunto a la filosofía de control con lo que se pudo realizar el diseño de las dos etapas como es la de repulpado y la de cianuración representados en los diagramas de instrumentación respectivos.

⁷ Hallado en: <http://cip.org.pe/imagenes/temp/tesis/43376271.pdf>, referenciado el 12 de octubre de 2014.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Descripción de la Minera Chinalco Perú S.A.

El proyecto Toromocho consiste en una mina de tajo abierto con reservas de cobre y molibdeno, localizada en la parte central de los Andes del Perú; en el distrito de Morococha, provincia de Yauli, departamento de Junín (ver figura 2.1). El proyecto está localizado en un área que cuenta con una larga historia de operaciones mineras y que ha sido activamente explorada desde los años 60 por Cerro de Pasco Corporation, luego por Centromin y recientemente por Minera Perú Copper S.A. (ahora Minera Chinalco Perú S.A.), quien recibe la concesión de Centromin (ahora activos mineros) mediante un contrato de transferencia del 5 de mayo de 2008. El titular del Proyecto Toromocho es Minera Chinalco Perú S.A. (Chinalco), de propiedad de Aluminum Corporation of China Ltd. Para propósitos del proyecto, el nombre del titular será Minera Chinalco Perú S.A., o su abreviación Chinalco⁸

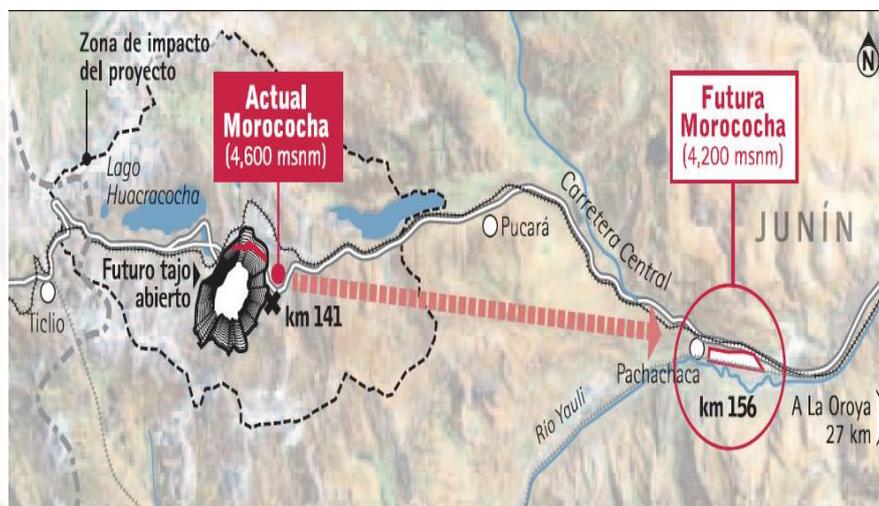


Figura 2.1. Ubicación del tajo abierto del proyecto Toromocho (Chinalco Perú S.A.)

⁸ Chinalco. Proyecto Toromocho. URL: <http://www.chinalco.com.pe/es/operaciones>. Referenciado el 12 de octubre de 2014.

2.2.2. Tanque clarificador espesador

El tanque es un depósito, donde se elimina el aire y se aporta el floculante necesario para acelerar el efecto de sedimentación (ver figura 2.2). La mezcla de la pulpa / floculante pasa a la zona inferior del tanque clarificador a través de un lecho fluido creado en el fondo por los sólidos sedimentados. De este modo se fuerza el contacto de las partículas sólidas con el floculante retenido en el lecho, potenciándose así el efecto del reactivo. El agua clarificada asciende a través del lecho fluido hacia la superficie, siendo evacuada por medio de un canal periférico de rebose. La "interface" sólido-líquido formada por el lecho fluido y el agua clarificada se controla automáticamente mediante diferentes sensores. Un sistema de rastras que gira en el fondo del tanque clarificador, empuja el lodo sedimentado hacia el cono central de descarga de donde es extraído mediante bombeo. La frecuencia y concentración de la descarga de lodos del tanque clarificador se controla de manera continua mediante un detector de carga que actúa sobre el sistema de bombeo de lodos⁹.



Figura 2.2. Tanque clarificador espesador¹⁰

2.2.3. Rastra del espesador clarificador

La rastra del espesador clarificador es un equipo hidráulico de acción mecánica que tiene por objetivo llevar el material depositado en el fondo del

⁹ Tanque clarificador espesador. URL: <http://www.ampmineral.com/equipos/clarificadores-espesadores.php>. Referenciado el 12 de octubre de 2014.

¹⁰ Chinalco Perú S.A. Proyecto Toromocho, departamento de ingeniería. 2014.

espesador hacia la abertura de descarga, además de mantener la fluidez en el interior del espesador. La rastra gira alrededor de 0.2 rpm. En la figura 2.3 se visualiza la rastra del espesador clarificador del proyecto Toromocho.



Figura 2.3. Rastra del espesador clarificador¹¹

2.2.3.1. Motor hidráulico de la rastra

Está conformado por un reductor (ver figura 2.4), que en realidad sirve no solo para variar la velocidad sino más bien para brindar mayor fuerza al torque en el fondo del tanque. En su parte superior tiene un motor hidráulico ligado a su propio reductor. Este motor hidráulico tiene una cierta velocidad y un cierto torque, y gracias al gearbox esa velocidad se disminuye. Las velocidades en las rastras son bien bajas, casi imperceptibles, y gracias a ello lo que se obtiene es una cama de sólidos.

¹¹ Chinalco Perú S.A. Proyecto Toromocho, departamento de ingeniería. 2014.



Figura 2.4. Motor hidráulico de la rastra¹²

2.2.3.2. Tanque hidráulico de la rastra

El tanque hidráulico es el depósito de aspiración e impulsión del sistema de bombeo, además sirve de almacén y reserva de aceite¹³. Tiene como función: cuando el fluido regresa al tanque, una placa deflectora, bloquea el fluido de retorno para impedir su llegada directamente a la línea de succión. Así se produce una zona tranquila, la cual permite sedimentar a las partículas grandes de suciedad, que el aire alcance la superficie del fluido y da oportunidad de que el calor se disipe hacia las paredes del tanque. La desviación del fluido es un aspecto muy importante en la adecuada operación del tanque. Por esta razón, todas las líneas que regresan fluido al tanque deben colocarse por debajo del nivel del fluido y en el lado de la placa deflectora opuesto al de la línea de succión.

¹² Chinalco Perú S.A. Proyecto Toromocho, departamento de ingeniería. 2014.

¹³ Tanque hidráulico. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/111585466/Tanque-Hidraulico#scribd>. Citado el 15 de octubre de 2014.

2.2.3.3. *Válvula de control ON/OFF*

La válvula de control es el elemento final de control on off (ver figura 2.5) comúnmente utilizado en todo sistema de control. Es básicamente, un orificio de restricción y su función consiste en abrir y cerrar, de acuerdo con una señal de control, del aceite hidráulico de proceso, manteniendo el equilibrio del sistema. Proporciona la modulación continua sin restricción y el control de posición. [1] [3]

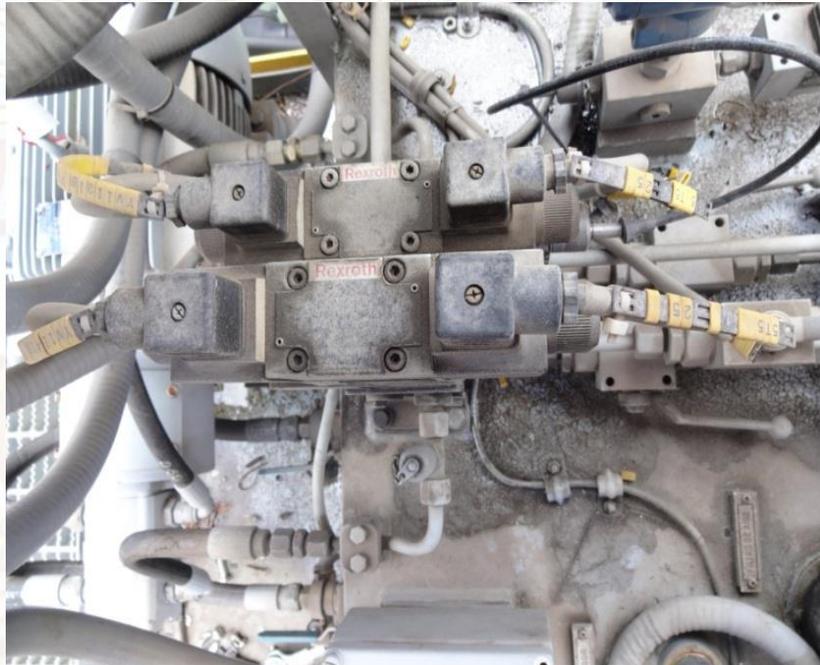


Figura 2.5. Válvula de control On/Off de tanque hidráulico de la rastra¹⁴

2.2.3.4. *Medición del torque*

La presión hidráulica se indica en una pantalla digital, en una escala 0-100%. La señal es generada por un transmisor analógico montado en la unidad de poder hidráulico, cuya señal es calibrada de 4 a 20 mA. La presión hidráulica es directamente proporcional al torque de la rastra. En caso que el torque supere una presión equivalente al 95%, (ver la figura 2.6), el interruptor de presión se desconectará y detendrá el

¹⁴ Chinalco Perú S.A. Proyecto Toromochó, departamento de ingeniería 2014.

mecanismo de rotación de la rastra. La protección final contra el torque alto es el uso de una válvula de alivio de presión. Esta señal puede usarse también para controlar el retiro de la descarga inferior y el interruptor del nivel de aceite del reductor. El reductor planetario está equipado con un interruptor de nivel de aceite que activa una alarma en el panel de control y en los SCD cuando el nivel de aceite cae por debajo del nivel seguro¹⁵.



Figura 2.6. Trasmisor de torque del tanque hidráulico de la rastra¹⁶

2.2.3.5. Presión equivalente al torque

La señal de presión equivalente al torque proviene del transmisor de presión montado en la unidad de poder hidráulico de la rastra. En la tabla 2.1 se muestra que la señal de presión es de 0 psi cuando la rastra está detenida y de 2,175 psi cuando la rastra está operando a 100 %, al cual no se debe llegar de acuerdo a las especificaciones técnicas del equipo, para salvaguardar el equipo, debiendo desactivar el mecanismo de rotación solo al 95%.

¹⁵ Chinalco Perú S.A. Proyecto Toromocho, departamento de ingeniería 2014

¹⁶ Chinalco Perú S.A. Proyecto Toromocho, departamento de ingeniería 2014

Tabla 2.1. Señal de presión equivalente al torque

Torque de la rastra (%)	Señal de presión equivalente al torque (psi)	Salida de señal para PLC (mA)
0%	0	4
25%	543.75	8
40%	870.00	10,4
45%	978.75	11,2
50%	1,087.50	12
75%	1,631.25	16
95%	2,066.25	19,2
100%	2,175.00	20

Fuente: Chinalco Perú S.A. Departamento de Ingeniería 2014

2.2.3.6. Interruptor del nivel de aceite de la unidad de poder

Detecta el nivel de aceite en el tanque de la unidad de poder y se activa cuando llega al límite inferior (ver figura 2.7).



Figura 2.7. Switch de nivel de aceite del tanque hidráulico de la rastra¹⁷

¹⁷ Chinalco Perú S.A. Proyecto Toromocho, departamento de ingeniería 2014.

2.2.3.7. Interruptor de temperatura

Monitorea la temperatura del aceite en el tanque de la unidad de poder y se activa cuando llega al límite superior (ver figura 2.8).



Figura 2.8. Switch de temperatura alta y baja del tanque hidráulico de la rastra¹⁸

2.2.3.8. Interruptor de desconexión del torque

Un interruptor de presión que detiene la unidad de poder cuando el torque supera una presión equivalente al 95%. Una luz indicadora en el panel de control se activa (ver figura 2.9).

¹⁸ Chinalco Perú S.A. Proyecto Toromocho, departamento de ingeniería 2014.



Figura 2.9. Switch de torque del tanque hidráulico de la rastra¹⁹

2.2.3.9. Interruptores de límite de elevador de rastra

Interruptores que indican que la altura más alta o la altura más baja de la rastra se han alcanzado (ver figura 2.10).



Figura 2.10. Switch de posición alta y baja de la rastra²⁰

¹⁹ Chinalco Perú S.A. Proyecto Toromocho, departamento de ingeniería 2014

²⁰ Chinalco Perú S.A. Proyecto Toromocho, departamento de ingeniería 2014.

2.2.3.10. Indicador de altura de la rastra

El indicador de altura de rastra mide qué tan alto se han elevado las rastras (ver figura 2.11), este instrumento genera una señal de 4 a 20 mA, lo que representa una altura de la rastra de 0 a 100% (0 a 100 cm). [6]



Figura 2.11. Instrumentación del indicador de posición de la rastra²¹

2.2.4. Detector de nivel de cama

El nivel de cama se detecta mediante un dispositivo tipo sonar (ver figura 2.12). El sensor de nivel de cama genera una señal de 4 a 20 mA, lo cual representa un nivel de cama de 0 a 100%. Esta señal se usa para el control de dosificación del floculante.

²¹ Chinalco Perú S.A. Proyecto Toromocho, departamento de ingeniería. 2014



ORCA
Amplifier & Transducer



Figura 2.12. Medidor de nivel de cama del espesador clarificador²²

2.2.5. Transmisor de nivel de masa

El transmisor de nivel de masa monitorea la presión del fluido en la parte inferior del espesador y reporta el nivel de masa como un porcentaje de dos valores de ajuste inicial (ver figura 2.13), el transmisor devuelve una señal de 4-20 mA al panel de control. Esta señal puede usarse para controlar el retiro de descarga inferior.

²² Chinalco Perú S.A. Proyecto Toromocho, departamento de ingeniería. 2014.



Figura 2.13. Transmisor de nivel de masa del espesador clarificador²³

2.2.6. Elementos finales de control

Elemento final de control (actuador) es un dispositivo que modifica directamente los valores de la variable manipulada en un lazo de control. Generalmente el elemento final de control es una válvula de control. De los elementos de un lazo de control, es el que mayor cantidad de energía maneja. En la figura 2.14, podemos ver el diagrama en bloques de un sistema de control en lazo cerrado convencional que encierra al elemento final de control en el bloque de proceso. [1] [4]

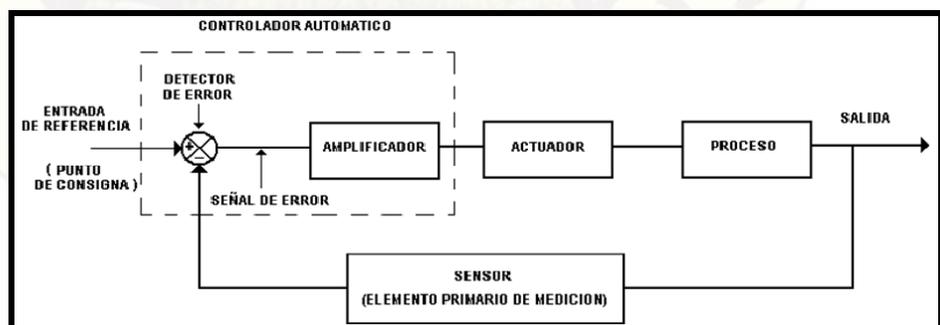


Figura 2.14. Diagrama de un lazo de control

²³ Chinalco Perú S.A. Proyecto Toromocho, departamento de ingeniería. 2014

2.2.7. Leyes de la sedimentación (ley de Stokes)

En los procesos de sedimentación juega un papel importante la relación de dilución, así como el tamaño de la partícula. De manera práctica, se observa que al verter una pulpa diluida en un cilindro y si se deja asentar, se observa lo siguiente²⁴:

1. Las partículas más gruesas son las primeras en llegar al fondo con relativa facilidad y con mayor velocidad que las de menor tamaño.
2. Enseguida a la sedimentación de las partículas gruesas, sigue la de los limos llenando los intersticios entre las partículas más gruesas.
3. Las partículas más finas, las cuales se asientan lentamente, permanecen en suspensión en la parte superior.

En general el movimiento de todas las partículas suspendidas en un fluido, salvo las coloidales, están gobernadas por las leyes de Stokes, (también llamadas leyes de Newton), las cuales son directamente proporcionales al tamaño de las partículas. La ley de Stokes determina la velocidad terminal (W) de la partícula en un fluido cualquiera, tal como se presenta en la (Ec. 2.1). [1]

$$W = \frac{2 (SG_s - SGL)}{9 \mu} g R^2$$

(Ec. 2.1)

Dónde:

W : Velocidad terminal

SG_s : Gravedad específica del sólido

SGL : Gravedad específica del líquido

g : Aceleración de la gravedad

R : Radio esférico de la partícula

2.2.8. Rangos de espesamiento

El rango de espesamiento de una pulpa está en función a la cantidad de agua que es posible extraer en el proceso de espesamiento, y en general

²⁴ Batchelor, G.K. (1967). Introducción a la dinámica de fluidos. Cambridge University Press. ISBN 0-521-66396-2.

es afectado por la distribución de tamaño de partículas, mineralogía, tipo de floculante empleado, dilución previa, etc. Pruebas en 68 tipos de relaves y plantas de procesamiento alrededor del mundo, incluyendo relaves de oro, plata, cobre, zinc, bauxitas, fosfatos, diamantes, etc. demostraron la factibilidad para la producción de relaves espesados. “la conversión de espesamiento convencional a espesado puede ser realísticamente alcanzada por cualquier operación existente, sin embargo el requerimiento más importante es el contenido de finos (menos de 20 micrones) de al menos 15% para asegurar una buena transportabilidad y consistencia” 8 (Meggyes 2008: 3-4). A continuación, en la figura 2.15, se presenta un diagrama simplificado de los rangos de espesamiento o desaguado.²⁵



Figura 2.15. Diagrama simplificado de los rangos de espesamiento. (Golder 2005)

2.2.9. Separación sólido-líquido

La mayoría de las etapas de procesamiento de mineral implica el uso de agua. Por lo tanto, debe haber una etapa en la cual el agua sea retirada de los sólidos de tal manera que el concentrado final pueda ser transportado y procesado, o de forma tal que el agua sea reciclada para retornar al proceso de la planta²⁶. El objetivo básico del espesamiento es retirar o recuperar de la pulpa la cantidad de agua necesaria para lograr una descarga inferior

²⁵ Juan A. Cabrejos. Estudio de Prefactibilidad para la recuperación de agua de la gran minería mediante la tecnología de relaves espesados. URL: cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/789/1/cabrejos_sj.pdf [Tesis para optar el título profesional de ingeniero metalurgista]. Universidad nacional de Ingeniería. Referenciado el 12 de octubre de 2014.

²⁶ Juan A. Cabrejos. Estudio de Prefactibilidad para la recuperación de agua de la gran minería mediante la tecnología de relaves espesados. URL: cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/789/1/cabrejos_sj.pdf [Tesis para optar el título profesional de ingeniero metalurgista]. Universidad nacional de Ingeniería. Referenciado el 12 de octubre de 2014.

espesa y un rebose limpio/claro. La pulpa es espesada usualmente para la etapa de procesamiento subsiguiente como el filtrado o secado [2].

2.2.10. Sedimentación por gravedad

Todas las partículas de la pulpa tienden a ser cargadas y las partículas con cargas idénticas se repelerán y permanecerán en suspensión hasta que la fuerza de gravedad las haga asentarse y concentrarse. La sedimentación es un método rentable de separación sólido-líquido. Cuando la densidad de los líquidos y sólidos difieren de forma significativa, la sedimentación de las partículas sólidas en el tiempo resulta en un líquido limpio claramente separado de una capa de pulpa espesada. La tasa a la cual las partículas se asientan depende del tamaño de la partícula: las partículas muy finas se asientan muy lentamente mientras que las partículas más grandes se asientan más rápido²⁷. La función de un espesador es acelerar este proceso de sedimentación. El producto final deseado determina cómo se diseña y opera el espesador en el procesamiento de minerales, donde la pulpa es el proceso los minerales son molidos para liberar los minerales valiosos. Los procesos de flotación se usan para producir un concentrado de mineral de alto grado. Desde el circuito de flotación, la pulpa pasará por una etapa de separación sólido-líquido para eliminar la mayor cantidad posible de agua tanto del concentrado como de los relaves. En este caso, los sólidos son los más importantes²⁸.

2.2.11. Flujo hidráulico en un espesador

La pulpa de alimentación ingresa al tanque de alimentación vía la tubería de alimentación. Se agrega floculante a la pulpa de alimentación en la tubería de alimentación y en el tanque de alimentación. La alimentación es diluida con agua en el tanque de alimentación para ayudar a la mezcla con floculante. Los deflectores en el tanque de alimentación promueven la

²⁷ Balta R. Diseño del sistema de control automático del proceso de retratamiento del relave en la unidad minera orcopampa de la empresa buenaventura [Tesis para optar el título de profesional de ingeniero electrónico]. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo; 2010.

²⁸ Tecnología minera. Sedimentación. URL: <http://www.tecnologiaminera.com/tm/d/novedad.php?id=98>. Referenciado el 18 de octubre de 2014.

mezcla de la pulpa de alimentación floculada y permiten un tiempo de estadía aceptable (aproximadamente 40-45 segundos). Con la energía de mezcla disipada, la alimentación sale del tanque de alimentación y es inyectada en la parte superior de una cama fluidizada profunda²⁹. Entonces las partículas se asientan al fondo del espesador, mientras que el agua clara sube a la parte superior [3]. El agua clara de la parte superior se vierte por los vertederos en las canaletas ubicadas alrededor de la circunferencia del espesador. Las rastras en constante rotación derivan la descarga inferior hacia el centro del espesador. Los sólidos de la descarga inferior son entonces retirados del espesador por la tubería de descarga inferior.

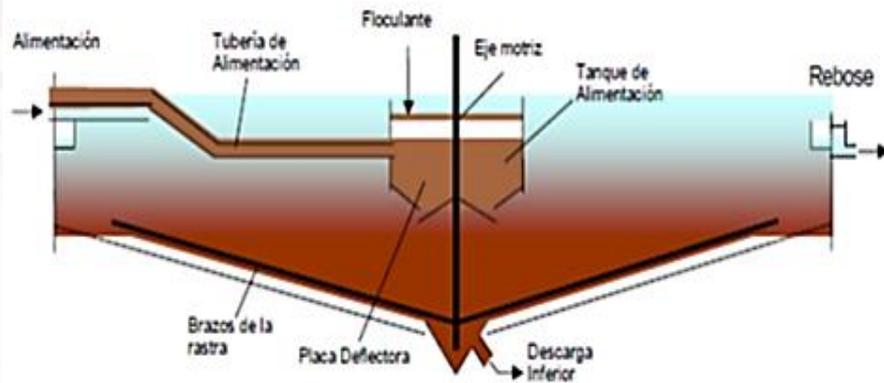


Figura 2.16. Flujo de fluido en un espesador (Juan A. Cabrejos 2011)

2.2.12. Espesamiento de concentrados

El espesador de concentrados procesa el concentrado que contiene el metal a ser extraído. Por lo tanto, es importante obtener una descarga inferior lo más espesa posible para que el transporte y la refinación sean más rentables. En algunos casos, la descarga inferior del espesador de concentrado es pasada a través de un filtro para retirar más líquido³⁰. Los espesadores de concentrado tienden a menudo a tener problemas de

²⁹ Juan A. Cabrejos. Estudio de Prefactibilidad para la recuperación de agua de la gran minería mediante la tecnología de relaves espesados. URL: cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/789/1/cabrejos_sj.pdf [Tesis para optar el título profesional de ingeniero metalurgista]. Universidad nacional de Ingeniería. Referenciado el 12 de octubre de 2014.

³⁰ Tecnología minera. Espesamiento de concentrados. URL: <http://www.tecnologiaminera.com/tm/d/novedad.php?id=98>. Referenciado el 18 de octubre de 2014.

espuma debido a la carga de sólidos y a la presencia de reactivos y de aire desde el circuito de flotación (ver figura 2.17).

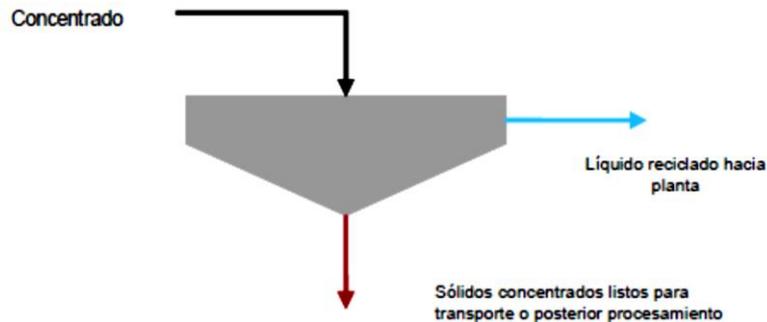


Figura 2.17. Espesamiento de concentrados (Juan A. Cabrejos 2011)

2.2.13. Floculantes

La parte más crítica de una operación de espesamiento es la floculación. Los floculantes se agregan a la pulpa para incrementar la tasa de sedimentación. Los floculantes proporcionan mayor rapidez de sedimentación, mayor claridad y recolección homogénea de sólidos. Los floculantes son polímeros de cadena larga (hidrocarburos) con grupos cargados unidos – moléculas muy grandes con pesos moleculares de millones [11]. Las cadenas se “desenrollan” debido a los efectos de repulsión a la carga del sitio y a la hidratación alrededor de los sitios de carga. Los grupos de carga en la cadena de polímeros floculantes interactúan con la carga superficial en las partículas de los sólidos. Las moléculas más grandes pueden extenderse por un largo camino y pueden interactuar con múltiples partículas simultáneamente, sosteniéndolas, juntándolas³¹ (ver figura 2.18).

³¹ Tecnología minera. Espesamiento de concentrados. URL: <http://www.tecnologiaminera.com/tm/d/novedad.php?id=98>. Referenciado el 18 de octubre de 2014.

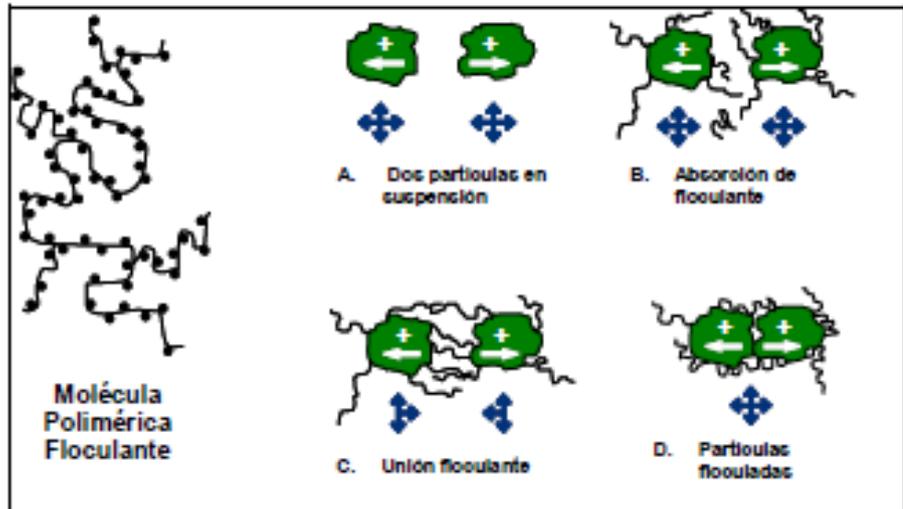


Figura 2.18. Proceso de floculación de partículas

Sin floculante, los sólidos se asientan lentamente. Al añadir 10 g/t de floculante aumenta la velocidad de sedimentación y aumenta la densidad de la cama asentada. Con 20 g/t se asienta más rápido y da una sedimentación de mayor densidad. Con más floculante generalmente aumenta la densidad de la descarga inferior y mejora la claridad del rebose³². Sin embargo, demasiado floculante, puede producir sobre-floculación y el ingreso de agua en exceso entre los flóculos, reduciendo la densidad de la descarga inferior (observar figura 2.19).

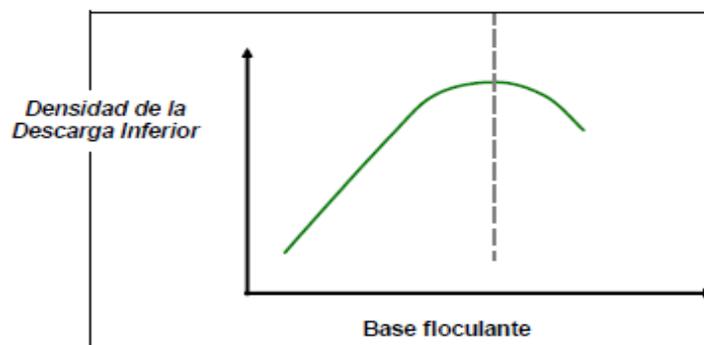


Figura 2.19. Relación base floculante densidad de la descarga inferior

³² Juan A. Cabrejos. Estudio de Prefactibilidad para la recuperación de agua de la gran minería mediante la tecnología de relaves espesados. URL: cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/789/1/cabrejos_sj.pdf [Tesis para optar el título profesional de ingeniero metalurgista]. Universidad nacional de Ingeniería. Referenciado el 12 de octubre de 2014.

2.2.14. Coagulantes

Los coagulantes se usan cuando la mayoría de sólidos flocculan y se asientan bien pero el líquido de fondo es turbio debido a la presencia de partículas coloidales – muy finas y bien dispersadas. Los coagulantes que se usan varían según las aplicaciones. Una opción de bajo costo es usar sales inorgánicas siendo las más comunes Fe^{3+} , Al^{3+} y Ca^{2+} . [12]

2.2.15. Molibdeno

Elemento químico, símbolo Mo, con número atómico 42 y peso atómico 95.94; es uno de los elementos de transición. Metal gris plateado con una densidad de 10.2 g/cm^3 ($5,907 \text{ oz/in}^3$), se funde a $2,610 \text{ }^\circ\text{C}$ ($4,730 \text{ }^\circ\text{F}$)³³.

El molibdeno se encuentra en muchas partes del mundo, pero pocos depósitos son lo suficientemente ricos para garantizar la recuperación de los costos. La mayor parte del molibdeno proviene de minas donde su recuperación es el objetivo primario de la operación. El restante se obtiene como un subproducto de ciertas operaciones del beneficio del cobre.

El molibdeno forma compuestos en los cuales presenta estados de oxidación, 0, 2+, 3+, 4+, 5+, 6+. No se ha observado como catión ionizable, pero se conocen especies catiónicas como el molibdenilo. La química del molibdeno es extremadamente compleja y, con excepción de los halogenuros, son muy pocos los compuestos simples conocidos.

El dióxido y el trióxido de molibdeno son los óxidos más comunes y estables; otros óxidos descritos son metaestables, en lo esencial, son especies de laboratorio.

El ácido molíbdico, H_2MoO_4 (o $\text{MoO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), forma una serie estable de sales normales, del tipo $\text{M}_{22} + \text{MoO}_4$, $\text{M}_2 + \text{MoO}_4$ y $\text{M}_{23} + (\text{MoO}_4)_3$. Se pueden formar molibdatos poliméricos o isopolimolibdatos por la acidificación de una solución de molibdato o, en algunos casos, al calentar los molibdatos normales. El peróxido de hidrógeno reacciona con varios molibdatos para formar una serie de compuestos peroxianiónicos. Otro grupo de

³³ Molibdeno. Hallado en URL: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/mo.htm>. Citado el 15 de octubre de 2015.

compuestos del molibdeno son los heteropolielectrólitos, con mucho una familia fundamental de sales y ácidos libres: cada miembro contiene un anión complejo y de alto peso molecular. El molibdeno también forma halogenuros y oxihalogenuros, que representan un intervalo amplio en estabilidad y una serie de compuestos homólogos con S, Se y Te, semejantes a los óxidos.

Efectos del molibdeno sobre la salud: basado en experimentación animal, el molibdeno y sus compuestos son altamente tóxicos. Se ha informado de alguna evidencia de disfunción hepática con hiperbilirubinemia en trabajadores crónicamente expuestos en planta de molibdeno y cobre. Además, se han encontrado signos de gota en trabajadores de fábricas y entre los habitantes de zonas de Armenia ricas en molibdeno. Las características principales fueron dolores de la articulación de las rodillas, manos, pies, deformidades en las articulaciones, eritemas, y edema de las zonas de articulación.

Efectos ambientales del Molibdeno: no se han documentado efectos negativos del molibdeno sobre el medio ambiente.

2.2.16. Eficiencia de operación

La eficiencia es la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado³⁴ La eficiencia de operación es la óptima utilización de equipos, herramientas y recursos tecnológicos, que permitirá en este trabajo de investigación la operación adecuada de la rastra manteniendo el torque del tanque hidráulico entre 0 a 2175 psi, la temperatura entre 18 °C a 45 °C, nivel de cama de sólidos entre 0 y 1 m. pudiendo ser representado por la ecuación 2.2.

$$E = \frac{P}{R} \quad (\text{Ec. 2.2}).$$

Donde: P es el producto resultante, R son los recursos utilizados y E es la eficiencia.³⁵

³⁴ Diccionario de la lengua española (vigésima segunda edición). Real Academia Española. España; 2014.

³⁵ Chiavenato I. Introducción a la teoría general de la administración. Novena edición. McGraw-Hill Interamericana; 2010, Pág. 52.

En la investigación que se desarrollará el producto resultante es la operación de la rastra, teniendo como recursos a los sistemas de control de torque de la rastra, control de temperatura en el tanque hidráulico y control de nivel de cama de sólidos, estos recursos tecnológicos permitirán mejorar la eficiencia de operación de la rastra.

2.2.17. Instrumentación propuesta

Como parte del proyecto se contempla los instrumentos de medición así como de elementos finales de control indicando en un diagrama esquemático de proceso P&D (ver figura 2.20.), donde se encuentran indicados el envío de las señales de control y del sistema a los diferentes elementos finales de control conectados al tablero de control 284-TK-052-CP01.

En la tabla 2.2, se muestra la instrumentación asociada a la rastra, los mismos que permiten adquirir las variables para mejorar la eficiencia de operación de la rastra.

Tabla 2.2. Instrumentación asociada a la rastra

TAG No	INSTRUMENT TYPE	SERVICE
284-PSV-1112	Press/vac relief valve	HYDRAULIC POWERPACK - DRIVE SAFETY
284-TSH-1113	Temperature switch high	HYDRAULIC POWERPACK - OIL TEMP
284-PSV-1114	Press/vac relief valve	HYDRAULIC POWERPACK - LIFT SAFETY
284-LI-1115	Level indicator	HYDRAULIC POWERPACK - OIL LEVEL
284-LSL-1116	Level Switch	HYDRAULIC POWERPACK - OIL TRIP
284-PSL-1117(PDSH)	Pressure switch	HYDRAULIC POWERPACK - FL BLOCKED
284-PI-1118	Pressure indicator	HYDRAULIC POWERPACK - PRESSURE IND
284-LSL-1121	Level Switch	ACID THICKENER TANK
284-ZIT-1141	Position transmitter	ACID THICKENER TANK
284-ZSH-1141	Position switch	ACID THICKENER TANK
284-ZSL-1141	Position switch	ACID THICKENER TANK
284-LE-1151	Ultrasonic level sensor	ACID THICKENER TANK
284-LIT-1151	Ultrasonic level transmitter	ACID THICKENER TANK
284-PIT-1152	Pressure transmitter	ACID THICKENER TANK
284-AE-1154	Turbidity Analyzer	ACID THICKENER TANK
284-AIT-1154	Turbidity Analyzer	ACID THICKENER TANK
284-OSHH-1101/A	Torque Switch High	HYDRAULIC POWERPACK TORQUE TRIP
284-OIT-1102	Torque Transmitter	HYDRAULIC POWERPACK - TORQUE
284-YV-1131/A	Event State	HYDRAULIC POWERPACK - FORWARD
284-YV-1131/B	Event State	HYDRAULIC POWERPACK - REVERSE
284-YV-1141/A	Event State	HYDRAULIC POWERPACK - RAISE
284-YV-1141/B	Event State	HYDRAULIC POWERPACK - LOWER

Fuente: Chinalco Perú S.A. Departamento de Ingeniería 2014

2.2.18. Software Rslogix 500 8.40.00

Es un paquete de programación lógica tipo Ladder creado por Rockwell Software Automation³⁶ (ver figura 2.21). Compatible con ambiente

³⁶ Rockwellautomation. Manual RSLogix 500. Disponible en: <http://ab.rockwellautomation.com/>. Citado el 15 octubre de 2014.

Microsoft Windows para los procesadores PLC 5, PLC 500 y Micrologix. El software RSLogix 500 incluye múltiples funcionalidades detalladas a continuación:[7]

- Árbol de proyecto donde están todas las herramientas para el desarrollo de todo el programa.
- Compilador de proyectos para detección de errores y su corrección.
- Editor Ladder para el desarrollo de programa.
- Herramientas de copia y edición de líneas de programa Ladder; además de contar con la posibilidad de realizar edición en línea
- Posibilidad de forzar I/O's de programas tipo Ladder.
- Comunicarse con cualquier computador o procesador en la red disponible, dependiendo de las condiciones.
- Realización de carga y descarga de programas hacia y desde un procesador y computador.
- Monitorear la operación del procesador.
- Herramientas de búsqueda simple y avanzada para elementos y datos de programa.
- Variar el modo de operación del procesador (Run/Rem/Prog).
- Realizar sustitución instrucciones ladder y direcciones.
- Añadir comentarios a datos, escaleras, instrucciones y direcciones en el programa.

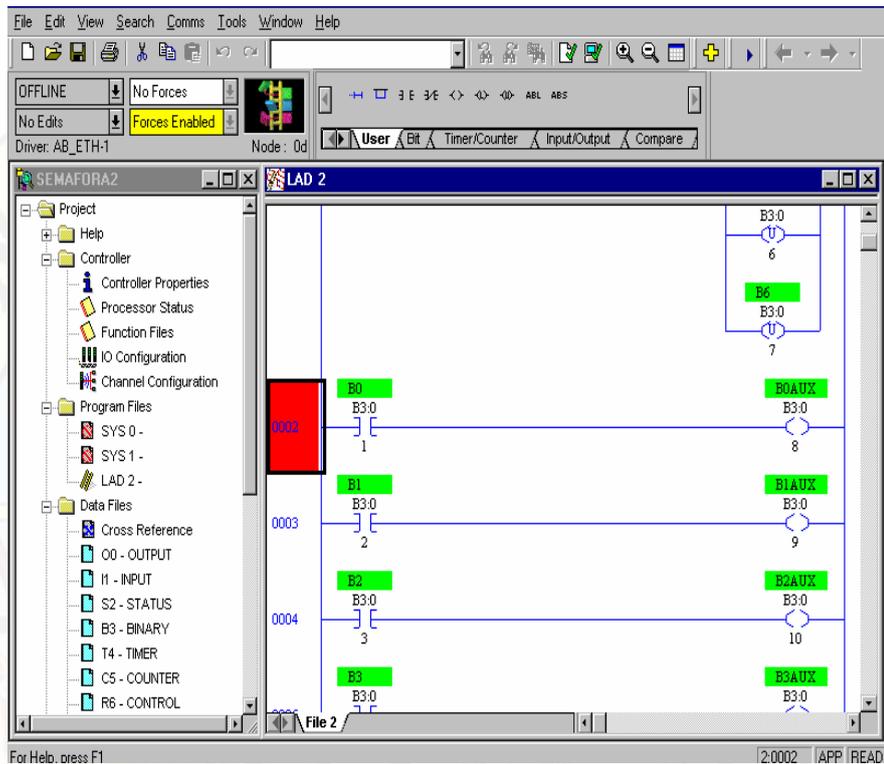


Figura 2.21. Programa en Rslogix 500 8.4.00 para el desarrollo de la lógica de control de la rastra

2.2.19. Software Factory Talk View 6.10.00 SE (Site Edition)

Software para el desarrollo del proyecto de tesis es parte de la familia de Factory Talk View Enterprise Series (ver figura 2.22). Productos que suministran una solución de HMI común para aplicaciones a nivel de equipos y supervisión³⁷. El software suministra una arquitectura flexible para las siguientes clases de aplicaciones.

- Aplicaciones locales (autónoma) Los componentes de software Factory TalkView SE están instalados sobre una computadora. Si es necesario, servidores adicionales pueden enviar datos a la computadora que ejecuta la aplicación autónoma. [8]

³⁷ Rockwellautomation. Factory Talk View. Disponible en: <http://ab.rockwellautomation.com/>. Citado el 15 octubre de 2014.

- Aplicaciones en red (distribuido): los componentes de software Factory Talk View SE son extendidos entre servidores múltiples y cliente computadoras³⁸.

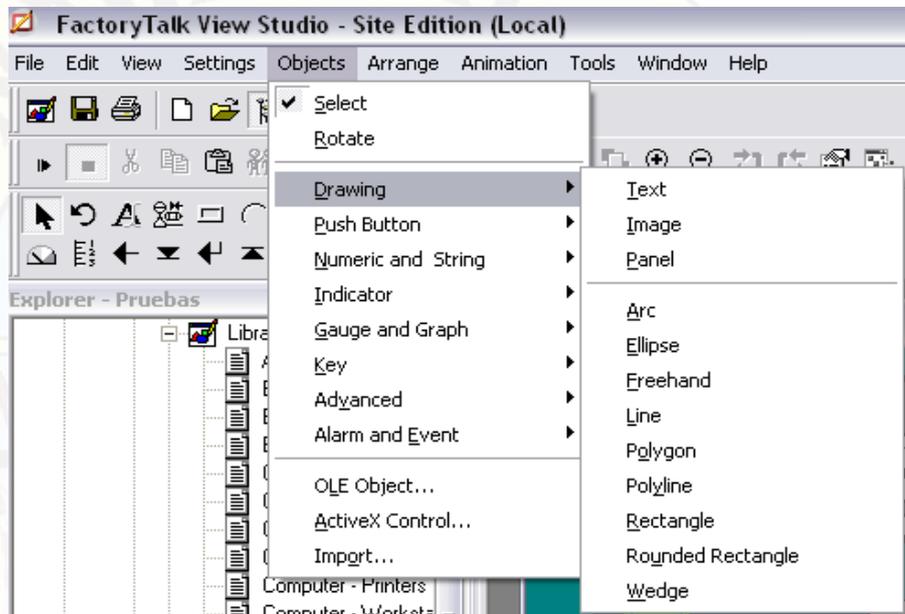


Figura 2.22. Software Factory Talk View para el desarrollo de la aplicación de control de la rastra

2.2.20. Sistema de control automático

Conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismos, es decir, sin intervención de agentes exteriores, corrigiendo además los posibles errores que se presenten en su funcionamiento³⁹. Sus aplicaciones son innumerables (en los hogares, procesos industriales, etc.), y tienen especial repercusión en el campo científico (misiones espaciales) y en avances tecnológicos (automatizaciones). Surge así la regulación automática, que se dedica al estudio de los sistemas automáticos de control. En la figura 2.23, se tiene el diagrama de bloques de un sistema de control automático

³⁸ Disponible en: <http://ab.rockwellautomation.com/>. Citado en 15 octubre de 2014.

³⁹ Sistema de control automático. Disponible en URL: <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-sistemas-de-control-automatico.pdf>. Referenciado el 22 de noviembre de 2014.

que contempla como componentes básicos la consigna, el controlador, el proceso afectado por perturbaciones y el medidor o sensor que informa al controlador el estado de la variable controlada. Este principio es aplicado en la investigación al sistema de control de torque, temperatura en tanque hidráulico y nivel de cama.

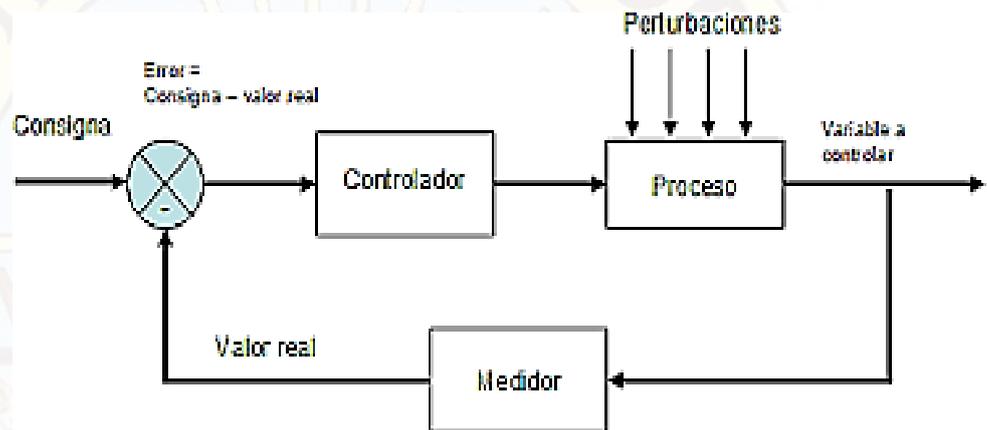


Figura 2.23. Diagrama de bloques de un sistema de control automático (Fuente: Ogata K. Ingeniería de Control Moderna)

2.2.21. Autómata programable PLC

El PLC es un aparato electrónico, programable por un usuario y destinado a gobernar, máquinas o procesos lógicos secuenciales. El término PLC significa Controlador Lógico Programable aunque una definición más exacta sería "Sistema Industrial de Control Automático" que trabaja bajo una secuencia de instrucciones lógicas, almacenada en memoria.

Es un "Sistema" porque contiene todo lo necesario para operar, "Industrial" por tener los requisitos necesarios para trabajar en ambientes hostiles, y "Control Automático" se refiere a la posibilidad de comparar las señales provenientes del equipo controlado con algunas reglas programadas con anterioridad para emitir señales de control y mantener la operación estable de dicho equipo.

2.2.21.1. Familia de Allen Bradley

Las soluciones que presenta Allen Bradley para implementar sistemas control con PLC's son diversas y cuenta con familia de controladores lógicos programables compactos y modulares tales como:

- ✓ PLC2.
- ✓ PLC3.
- ✓ PLC5.
- ✓ SLC500.
- ✓ Control Logix.

Cabe indicar que estos sistemas y arquitecturas no son rígidos ya que permiten integrarse a través de las redes (de información, de control, de dispositivos, serial etc.) y enlaces. 1000, 1100, 1200, 1500, según la necesidad del programador.

La familia micrologix en la cual nos enfocamos son los controladores programables económicos pero de gran utilidad para aplicaciones de control y monitoreo en industrias y se clasifican en módulos Micrologix.



Figura 2.24. Módulos Micrologix

2.2.21.2. Características Técnicas de Micrologix 1100

- Amplia memoria de 8 K (4 K para el programa de usuario con 4 K para datos de usuario) para cubrir una variedad de aplicaciones
- Su verdadera edición en línea permite el ajuste del programa, incluido P&D, sin tener que estar fuera de línea.
- Interruptor de modo Marcha/Remoto/Programa
- La capacidad de registro de datos basada en el tiempo o activada por evento almacena registros de datos del controlador con sello de hora 'opcionalmente en un área de memoria separada de 128 Kbytes para análisis posterior (tendencias, estado de E/S durante la condición de alarma, etc.)
- Opciones de expansión de E/S de gran rendimiento (hasta cuatro módulos de E/S 1762, en cualquier combinación)
- Cuatro entradas de alta velocidad (1763-L16BWA y 1763-L16BBB solamente) que pueden ser usadas individualmente como entradas con retención (atrapa impulsos), como interrupciones por evento o combinadas de manera alternada como un contador de alta velocidad de 20 kHz con ocho módulos de operación
- Dos entradas analógicas integradas de 0 a 10 VCC con resolución de 10 bits (sin aislamiento)
- Dos salidas de alta velocidad que pueden ser configuradas como de PTO (salida de tren de impulsos) de 20 kHz o como salidas PWM (modulada por ancho de impulso) (1763-L16BBB solamente)
- Temporizadores de alta resolución de 1.9 ms
- están protegidos por una batería de respaldo para asegurar un almacenamiento seguro.
- La protección contra descarga de archivos de datos impide la modificación de datos importantes del usuario mediante descargas de programas desde computadoras de programación o módulos de memoria

- La pantalla de cristal líquido integrada proporciona acceso a 48 bits y 48 números enteros que pueden ser cambiados o protegidos de manera opcional para ser monitoreados solamente mediante un operador
- La dirección IP puede ser monitoreada directamente a través de la pantalla de cristal líquido integrada
- Dos potenciómetros de ajuste digital integrados
- Operaciones matemáticas con enteros de 32 bits con signo
- Compatible con archivos de datos con enteros dobles y con punto flotante (coma flotante)
- Capacidades P&D integradas
- Certificaciones de organismos con potestad normativa para el mercado mundial (CE, C-Tick, UL, c-UL, incluidos lugares peligrosos Clase 1 División 2)
- El Canal 0 de comunicación proporciona compatibilidad eléctrica aislada con RS-232 ó RS-485 (seleccionable mediante la elección de cables de comunicación) A través de la interface RS-485, es posible la conexión directa a DH-485 y a redes con configuración maestro/esclavo Modbus RTU (sin un convertidor de interface eléctrica externo)
- El Canal 1 de comunicación consiste en un puerto RJ45 incorporado que es compatible con mensajería Ethernet de igual a igual. Este puerto de 10/100 Mbps es compatible con BOOTP y DHCP

2.2.21.3. Protocolos de Comunicación

Los protocolos de comunicación utilizados en éste proyecto, fueron seleccionados en la etapa inicial de la ingeniería, la cual no forma parte de este documento al igual que el hardware de control, los equipos eléctricos y la instrumentación; los protocolos de comunicación, fueron estudiados para poder configurar los módulos de comunicación y

realizar la programación necesaria en los controladores. A continuación se describen los protocolos utilizados en el proyecto y su uso. Ver figura 2.25.

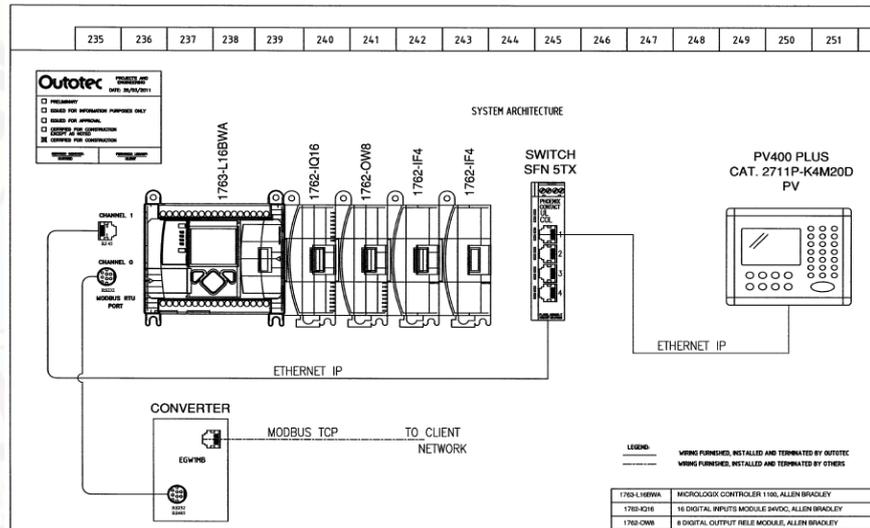


Figura 2.25. Arquitectura de comunicación

- **ModBus RTU**

El protocolo Modbus se implementó para la comunicación entre el panel de operador y el controlador. Se usó como capa física al estándar RS-232C, debido a que la máxima distancia entre el panel de operador y el controlador era 2 metros.

- **Modbus TCP/IP**

TCP/IP es un protocolo de transporte, no define cómo la información es interpretada ya que ese es el trabajo del protocolo de aplicación, en este caso es Modbus. Usa TCP/IP y Ethernet para llevar información de mensajes Modbus entre dispositivos compatibles. Ver tabla 2.3. Para el proyecto en el proyecto Toromocho, se usa este protocolo para la comunicación entre controladores y el centro de control, esto es debido a que se puede usar una red Ethernet para llevar información del controlador.

2.2.22. Diagrama de bloques del sistema

En la figura 2.26 se observa el diagrama de bloques que corresponde al proyecto en el cual se pueden ver tres bloques que representan etapas las mismas que son:

- Etapa de campo
- Etapa de control y
- Etapa de supervisión



Figura 2.26. Diagrama de bloques del sistema

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. Hipótesis general

- El sistema de control automático mejora en más de 5 % la eficiencia de operación de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la Planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.

2.3.2. Hipótesis específicas

- El subsistema de control de torque, mantiene el torque en el tanque hidráulico de impulsión de rastra en el rango de 40 % a 50 %, con un torque deseado de 45 %.

- El subsistema de control de temperatura, mantiene la temperatura del aceite en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, en el rango de 40 °C a 45 °C, con temperatura deseada de 42.5 °C.
- El subsistema de control de nivel, mantiene el nivel de cama de sólidos espesados entre 90 cm y 100 cm, con nivel deseado de 95 cm.

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- Agitadores: Se refiere a un sistema de agitación en base a una o dos hélices, dependiendo de la aplicación⁴⁰.
- Coagulante: Se denomina coagulante las sustancias que permiten a los sólidos perder su liquidez, tornándose similar a un gel en primera instancia y luego sólida, sin experimentar un verdadero cambio de estado⁴¹.
- Clarificador: Los clarificadores son máquinas que se utilizan para separar sólidos de un líquido por medio de la gravedad y los movimientos del agua haciendo que los sólidos floten o se hundan según su densidad⁴².
- Eficiencia: La eficiencia es la capacidad de disponer de controladores de diferentes variables para conseguir un efecto determinado⁴³.
- Eficiencia de operación: Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado⁴⁴
- Espesador: Se usa para extraer el agua de una pulpa; es decir, para espesar el material. Trabaja bajo el principio de gravedad o sedimentación, pues los sólidos van hacia el fondo y el agua se va hacia arriba⁴⁵.

⁴⁰ Tecnología aplicada a la minería. Agitadores y Espesadores de Minerales. Disponible en URL: <http://www.tecnologiaminera.com/tm/d/novedad.php?id=98>. Referenciado el 22 de noviembre de 2014.

⁴¹ Wikipedia. Cuagulante. <http://es.wikipedia.org/wiki/Coagulaci%C3%B3n>. Referenciado el 22 de noviembre de 2014.

⁴² Wikipedia. Clarificador. <http://es.wikipedia.org/wiki/Clarificadores>. Referenciado el 22 de noviembre de 2014.

⁴³ Diccionario de la lengua española (vigésima segunda edición). Real Academia Española. España; 2014.

⁴⁴ Diccionario de la lengua española (vigésima segunda edición). Real Academia Española. España; 2014.

⁴⁵ Tecnología aplicada a la minería. Agitadores y Espesadores de Minerales. URL: <http://www.tecnologiaminera.com/tm/d/novedad.php?id=98>. Referenciado el 22 de noviembre de 2014.

- Espesador - clarificador: Equipo donde se llevan a cabo procesos de separación sólido-líquido que se dan en las industrias de minería
- Floculante: Un floculante es una sustancia química que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación. Por ejemplo el alumbre, formado por dos sales combinadas de sulfato de aluminio y el sulfato de amonio.
- Hidrometalurgia: La hidrometalurgia es la rama de la metalurgia que cubre la extracción y recuperación de metales usando soluciones líquidas, acuosas y orgánicas⁴⁶.
- Molibdeno: El molibdeno es un metal esencial desde el punto de vista biológico y se utiliza sobre todo en aceros aleados⁴⁷.
- Operación: Proceso a ejecutar como parte de las instrucciones para que sea concretada una acción.
- Planta hidrometalúrgica: Son instalaciones para el procesamiento de minerales. Estas plantas se diseñan e implementan tomando en cuenta diversos factores como los medios de transporte de materiales que entran y salen de la planta, y las soluciones líquidas.
- Presión equivalente al torque: Es la señal dado en unidades psi proveniente de un transductor de torque que se envía por el transmisor de presión.
- Rastra: Equipo hidráulico de acción mecánica que tiene por objetivo llevar el material depositado en el fondo del espesador hacia la abertura de descarga y permitir la clarificación del producto.
- Reología: La reología (palabra introducida por Eugene Bingham en 1929) es la rama de la Física de medios continuos que se dedica al estudio de la deformación y el fluir de la materia.⁴⁸.
- Reológicas: Aplicación del estudio de la deformación y el fluir de la materia (Reología).

⁴⁶ Wikipedia. Hidrometalurgia: <http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrometalurgia>. Referenciado el 22 de noviembre de 2014.

⁴⁷ David R. Lide. (1994). Molybdenum. Handbook of Chemistry and Physics 4. p. 18. ISBN 0849304741.

⁴⁸ Wikipedia. Reología. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Reologia>. Referenciado el 22 de noviembre de 2014.

- Sistema de control automático: Conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismo⁴⁹.
- Tanque hidráulico: Depósito de aspiración e impulsión del sistema de bombeo, y sirve de almacén y reserva de aceite⁵⁰.

2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

2.5.1. Variable independiente

- ✓ Sistema de control automático (SCA)

2.5.2. Variable dependiente

- ✓ Eficiencia de operación de la rastra (% MEORECM).

2.6. DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES

Sistema de control automático (SCA): Interviene como una variable multidimensional y de tipo dicotómica. Es decir, su operación en el proceso se manifiesta con su presencia o ausencia. Asimismo, esta variable se manifiesta en tres subsistemas: subsistema de control de presión, subsistema de control de temperatura y subsistema de control de nivel; con los siguientes indicadores:

1. Presión equivalente al torque hidráulico (psi), varía en el intervalo de 0 a 2,175.00 psi. Cuando el motor hidráulico está detenido la señal de presión es 0 psi, y cuando hay mayor carga en el espesador de sólidos puede llegar hasta 2,175.00 psi, si la señal de presión supera 2,066.25 psi se activa una señal de alarma. Para efectos de control esta señal es enviado por un transmisor analógico de 4 mA a 20 mA. Para efectos de monitoreo se convierte a porcentajes en el rango de 0% a 100%

⁴⁹ Sistema de control automático. Disponible en URL: <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-sistemas-de-control-automatico.pdf>. Referenciado el 22 de noviembre de 2014.

⁵⁰ Tanque hidráulico. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/111585466/Tanque-Hidraulico#scribd>. Citado el 15 de octubre de 2014.

2. Temperatura en el tanque hidráulico (°C), varía en el rango de 18 °C a 45 °C. Para el arranque del motor hidráulico la temperatura del aceite hidráulico debe ser mayor o igual a 18 °C; si es menor se activa el sistema de calefacción y cuando superé los 45 °C, se activa el sistema de enfriamiento de aceite, y si la temperatura se incrementa llegando a superar los 60 °C el sistema de la rastra o bomba hidráulica se detiene.
3. Nivel de cama de sólidos (cm), varía entre 0 y 100 cm. Los materiales sólidos de relave de molibdeno debe acumularse hasta un nivel máximo de 100 cm. Si supera el nivel de 100 cm, se activa una señal de alarma y el material debe ser expulsado.

Eficiencia de operación de la rastra: Es una variable unidimensional que expresa la mejora en la operación de la rastra de espesador clarificador de molibdeno.

Tabla 2.3. Operacionalización de las variables

Variables	Tipo de variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Sistema de control automático	Independiente	Interviene en el proceso hidrometalúrgico del molibdeno como una variable multidimensional y de tipo dicotómica; con la finalidad de mantener los indicadores dentro de los valores configurados del proceso.	Subsistema de control de presión	Presión equivalente al torque en el tanque hidráulico (psi)
			Subsistema de control de temperatura	Temperatura (°C) en el tanque hidráulico
			Subsistema de control de nivel	Nivel de cama de sólidos (m) en el espesador clarificador
Eficiencia de operación de la rastra	Dependiente	Es una variable unidimensional y continua.	Índice de eficiencia	Porcentaje (%)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

La Compañía Minera Chinalco Perú S.A. es la encargada de ejecutar el Proyecto Toromocho, ubicado a 4,500 m.s.n.m. al este de Lima, distrito minero de Morococha, provincia de Yauli, región Junín. La investigación se desarrolló en la planta hidrometalúrgica de molibdeno, que tiene proyectada producir 25.7 toneladas diarias de óxido de molibdeno. Se diseñó e implementó el sistema de control automático y fue probado a nivel de prototipo, el mismo que permitió validar las hipótesis planteadas en la investigación.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es del tipo aplicado [13], que permite determinar la mejora de la eficiencia de operación de la rastra a través del control de las variables temperatura, nivel y torque del motor hidráulico, con utilización de la tecnología siguiente: Talk View Studio Machine Edition, Instrumentación con comunicación HART, PLC y módulos.

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Por el tipo de investigación, el nivel de investigación a la que corresponde es explicativo [13], ya que se requiere demostrar y explicar el comportamiento controlado desde una interfaz HMI, de las variables asociadas a la rastra como el torque del motor hidráulico, temperatura del aceite y nivel de cama de sólidos espesados.

3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación se empleó el método científico que es un conjunto de procedimientos por los cuales se plantean los problemas científicos y se ponen a prueba las hipótesis y los instrumentos de trabajo investigativo [14], y como método

particular el experimental que utiliza como procesos lógicos la inducción y la deducción, que se desarrolla en base a datos registrados de eventos de comportamiento de torque, nivel, y temperatura registradas a propósito de la investigación que permitieron evidenciar la mejora de la eficiencia de operación de la rastra del espesador clarificador de molibdeno.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En la investigación se usó el diseño experimental mediante series de tiempo, ya que se trabajó con un solo grupo cuasi experimental, con mediciones periódicas antes y después sobre la variable dependiente. El diseño de la investigación quedó representado con el siguiente esquema:

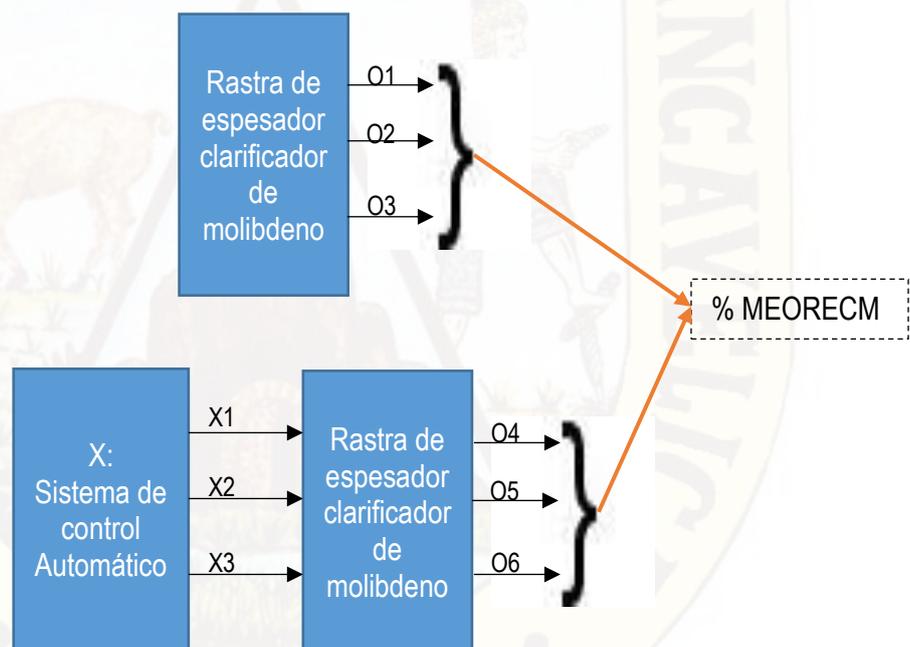


Figura 3.1. Diagrama de bloques del diseño de investigación

M: O₁ O₂ O₃ X O₄ O₅ O₆

Donde:

M: muestras

O₁, O₂, O₃: son las observaciones de las muestras de las variables pre-test.

X: Variable experimental.

O₄, O₅, O₆: son las observaciones de las variables post – test.

Ademas:

O₁= Representa las observaciones del torque del tanque hidráulico pre-test.

O₂= Representa las observaciones de la temperatura en el tanque hidráulico pre-test.

O₃= Representa las observaciones del nivel de cama de sólidos pre-test.

X= Sistema de Control Automático (Sistema de control de señales de presión, temperatura y nivel de cama, en tanque hidráulico de impulsión de rastra)

O₄= Representa las observaciones del torque del tanque hidráulico post-test.

O₅= Representa las observaciones de la temperatura en el tanque hidráulico post-test.

O₆= Representa las observaciones del nivel de cama de sólidos post-test.

3.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.6.1. Población

El trabajo de investigación se desarrolló en el proyecto Toromocho para alcanzar una mayor producción de molibdeno (Mo), presentando una población prácticamente infinita de posibles muestras para los indicadores de torque del tanque hidráulico, temperatura del tanque hidráulico y nivel de cama de sólidos espesados. Para efectos de cálculo se consideró una población de 100,000.

3.6.2. Muestra

Por tratarse de una población infinita se emplea la Ec. 3.1 y 3.2, para calcular la muestra de indicadores de torque del tanque hidráulico, temperatura del tanque hidráulico y nivel de cama de sólidos espesados.

$$n_0 = \frac{Z^2 P \cdot Q}{E^2} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$

(Ec. 3.2)

Donde:

$$Z= 1.96$$

$$N= 100,000$$

$$P= 0.50$$

$$Q= 0.50$$

$$E= 0.05$$

$n \cong 384$ muestras. Por lo que se tomaron 384 muestras por cada indicador.

3.6.3. Muestreo

El muestreo fue aleatorio simple, ya que todo el universo de la población tiene la misma oportunidad de ser seleccionado para integrar la muestra tanto en el pre test como en el post - test.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se empleó la técnica de la observación y toma de datos directos por instrumentos medidores que envían datos al PLC Micrologix por intermedio de los módulos de entrada/salida permitiendo visualizar datos en la plataforma FactoryTalkView, los posibles fallos son detectados por el sistema de control automático. La recolección de datos se realizó empleando como instrumento la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Instrumento de recolección de datos de pre y post-test.

Nº muestra	Torque del tanque hidráulico (%)	Temperatura de aceite en el tanque hidráulico (°C)	Nivel de cama de sólidos espesados (cm)
01			
02			
03			
04			
05			

06			
07			
08			
.			
.			
384			

3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los datos se recogieron a propósito de la investigación, por cada indicador (transmisor de torque en el tanque hidráulico, transmisor de temperatura de aceite del tanque hidráulico y transmisor de nivel de cama de sólidos espesados), en un número de 384 muestras, estas se tomaron cada minuto durante un día, y se almacenaron en el instrumento de la tabla 3.1.

3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para procesar los datos del trabajo de investigación se aplicó la técnica de procesamiento para muestras independientes alrededor de un valor deseado por cada variable, y se realizó el análisis estadístico de la diferencia de medias usando la prueba "t" para un nivel de confianza del 95%.

Para la prueba de hipótesis se formuló las hipótesis nula y alterna por cada hipótesis específica, se sometió a prueba las hipótesis nulas, éstas se rechazaron, por lo que se aceptaron las hipótesis alternas.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Para mejorar el control de la rastra en el espesador clarificador TK-054 del área hidrometalúrgica del proyecto Toromocho y lograr los objetivos propuestos, en el trabajo de investigación se diseñó e implementó la arquitectura de un sistema de control automático con autómatas programables e instrumentos industriales inteligentes.



Figura 4.1. Diagrama general del sistema de control automático para mejorar la operación de la rastra del espesador clarificador de molibdeno.

El sistema de control automático para la operación de la rastra del espesador clarificador de molibdeno contempla tres subsistemas: 1. Subsistema de control de torque en tanque hidráulico de impulsión de rastra, 2. Subsistema de control de temperatura de aceite en tanque hidráulico de impulsión de rastra, y 3. Subsistema de control de nivel de cama de sólidos espesados (ver Figura 4.1).

El subsistema de control de torque de tanque hidráulico de impulsión de rastra recibe la señal proveniente del transmisor de torque OIT-1102 de la unidad hidráulica en el rango normal de 4 a 20 mA, lo que permitió en el subsistema activar un visualizador en el rango de 0 a 100 % y controlar la válvula de control On/Off se subida y bajada de la rastra YV-1141A.

Tabla 4.1. Torque de motor hidráulico y señal de corriente equivalente

Torque de motor hidráulico (psi)	Salida de transmisor de corriente a PLC (mA)	medida de torque indicada en el HMI (%)
0.00	4	0%
543.75	8	25%
870.00	10.4	40%
978.75	11.2	45%
1087.50	12	50%
1631.25	16	75%
2066.25	19.2	95%
2175.00	20	100%

El subsistema de control temperatura de aceite en tanque hidráulico recibe la señal proveniente del sensor de temperatura por medio de un transmisor. Este subsistema permite controlar la temperatura de aceite de 40 °C a 45 °C. Es una condición que se debe cumplir para poder dar marcha a la rastra del espesador si es menor que 18 °C se activa la resistencia eléctrica, cuando superé los 45 °C se activa el mecanismo de enfriamiento de aceite hasta reducir la temperatura por debajo de 40 °C, cuando la temperatura llega a 50 °C, se activa la alarma de alta temperatura, y si llega a los 60 °C se detiene todo el sistema de la rastra de espesador clarificador.

Tabla 4.2. Temperatura de aceite en tanque hidráulico y señal de corriente equivalente transmitido a PLC.

Temperatura de aceite en tanque hidráulico (°C)	Salida del transmisor de corriente a PLC (mA)	Medida de temperatura indicada en el HMI (%)
0	4	0%
18	6.88	18%
25	8	25%
40	10.4	40%
45	11.2	45%
50	12	50%
60	13.6	60%
75	16	75%
100	20	100%

El subsistema de control de nivel de cama de sólidos espesados recibe la señal proveniente del detector de nivel de cama. Este subsistema permite controlar al material sólido de relave de molibdeno acumulado hasta un nivel máximo de 100 cm. Si alcanza o supera el nivel de 100 cm, se activa una señal de alarma indicando que el material debe ser expulsado.

Tabla 4.3. Nivel de cama de sólidos espesados y señal de corriente equivalente transmitido a PLC.

Nivel de cama de sólidos espesados (cm)	Salida del transmisor de corriente a PLC (mA)	Medida de nivel indicada en el HMI (%)
0	4	0%
25	8	25%
50	12	50%
75	16	75%
95	19	95%
100	20	100%

4.1.1. Diseño del subsistema de control de torque en tanque hidráulico de impulsión de rastra en el espesador 284-TK-052

El sistema de control se diseñó e implementó para la plataforma FactoryTalk View ME. La visualización de datos se realizó en una pantalla táctil PanelView Plus 1400 en la cual se creó 13 pantallas donde son adquiridos los variables de proceso del espesador, del proyecto Toromocho en la planta hidrometalúrgica que son controlados y supervisados desde una estación de operación con interface gráfica.

El diseño del subsistema debe cumplir con lo especificado en el diagrama de flujo de la figura 4.2, tomando en cuenta las señales analógicas de la tabla 4.1. donde la salida del transmisor de corriente es tomado por el PLC para determinar las acciones de acuerdo a las condiciones establecidas. La señal de torque es leída constantemente. Si la señal está en el rango de 40 % a 50 %, la rastra gira constantemente, si la señal supera los 50% de torque la rastra se eleva cada 63 seg a un máximo de 30 cm de altura hasta ser detenido por finales de carrera máximo o mínimo ZSH y ZSL, luego, la rastra bajará cuando el torque disminuye por debajo del 40 %. Si el torque alcanza y supera el 90 %, se activa un alarma y detiene la unidad hidráulica de la rastra.

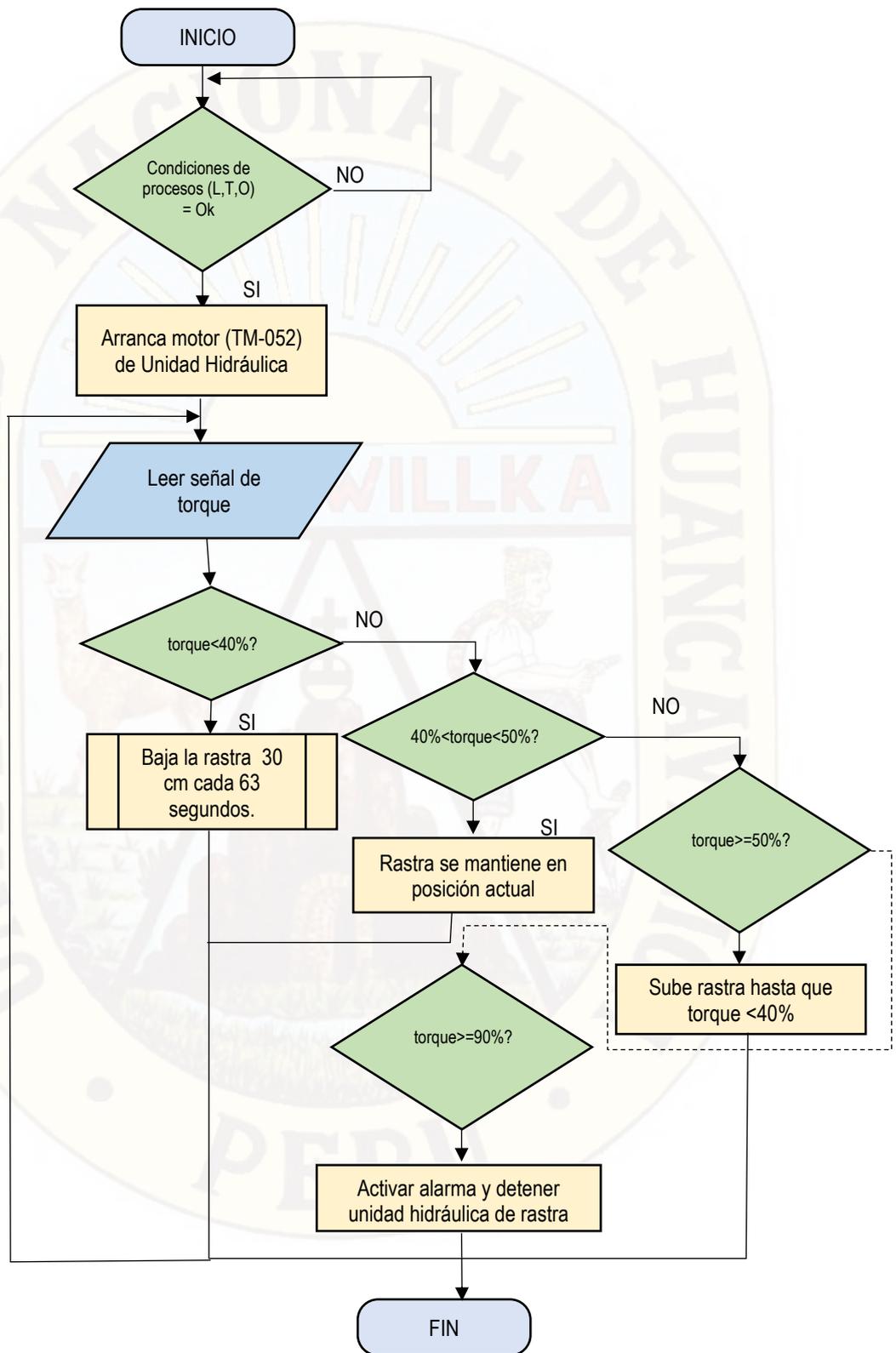


Figura 4.2. Diagrama de flujo del subsistema de control de torque en tanque hidráulico de impulsión de rastra.

La lógica de control se desarrolló e implementó en el PLC Micrologix 1100 series B, empleando el editor RsLogix 500 pro desarrollado por Rockwell.

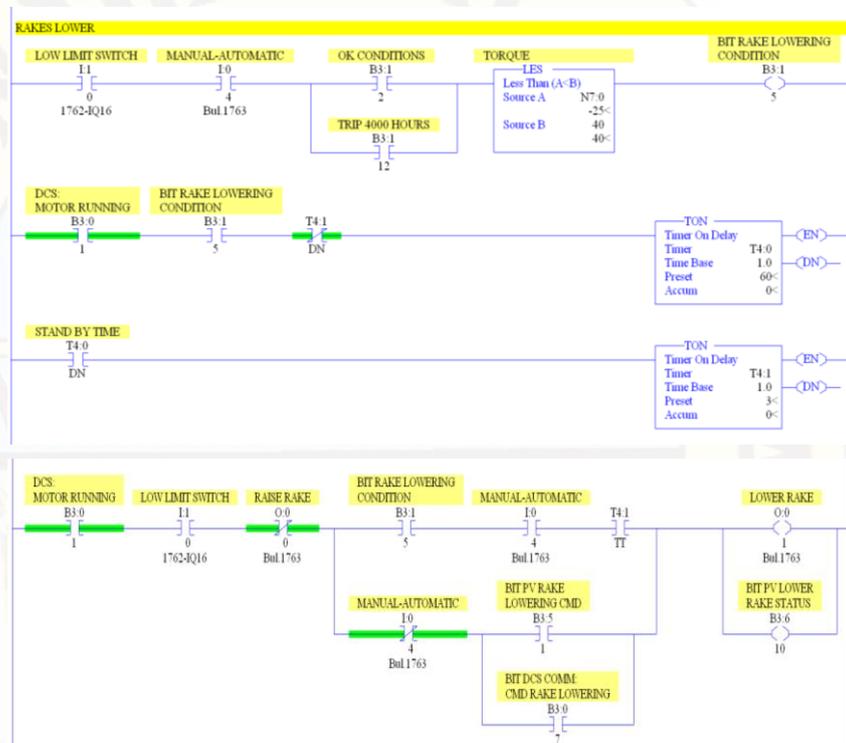


Figura 4.3. Programa en Rslogix 500 8.4.00 para el desarrollo de la lógica de control del sistema.

4.1.2. Diseño del subsistema de control de temperatura de aceite en tanque hidráulico

El transmisor de temperatura ubicado en el tanque hidráulico envía la señal de contactos por alta temperatura TSH o baja temperatura TSL, cuando la temperatura de aceite supera los 18 °C, queda habilitado el arranque del motor hidráulico, si es menor se activa el sistema de calefacción compuesto por resistencias y cuando supera los 45 °C se activa el mecanismo de enfriamiento de aceite para enfriar hasta por debajo de 40 °C. En la figura 4.4 se representa el diagrama de flujo del algoritmo de control de temperatura de aceite en tanque hidráulico.

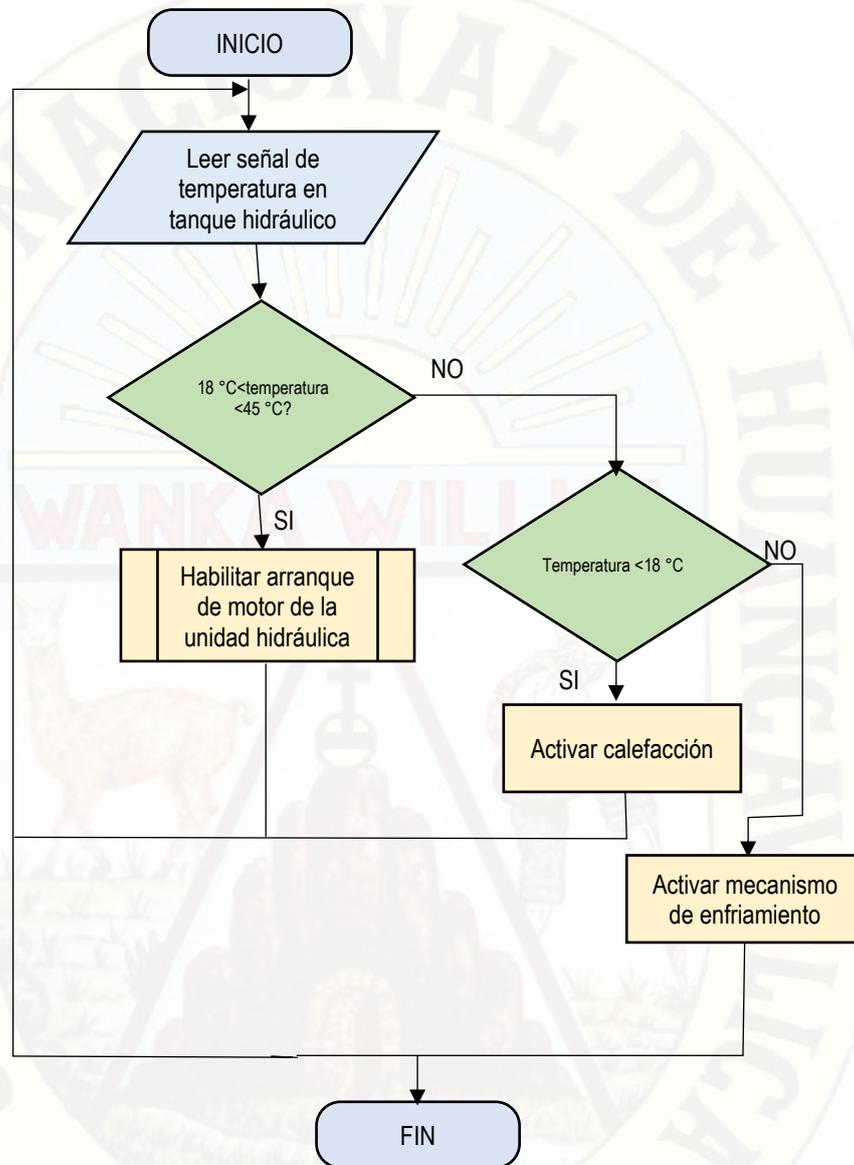


Figura 4.4. Diagrama de flujo del subsistema de control de temperatura de aceite en tanque hidráulico.

4.1.3. Diseño del subsistema de control de nivel de cama de sólidos espesados

El subsistema de control de nivel de cama de sólidos espesados recibe la señal proveniente del detector de nivel de cama. Este subsistema permite al material sólido de relave de molibdeno acumularse hasta un nivel máximo de

100 cm. Si alcanza o supera el nivel de 100 cm, se activa una señal de alarma indicando que el material debe ser expulsado (ver figura 4.5).

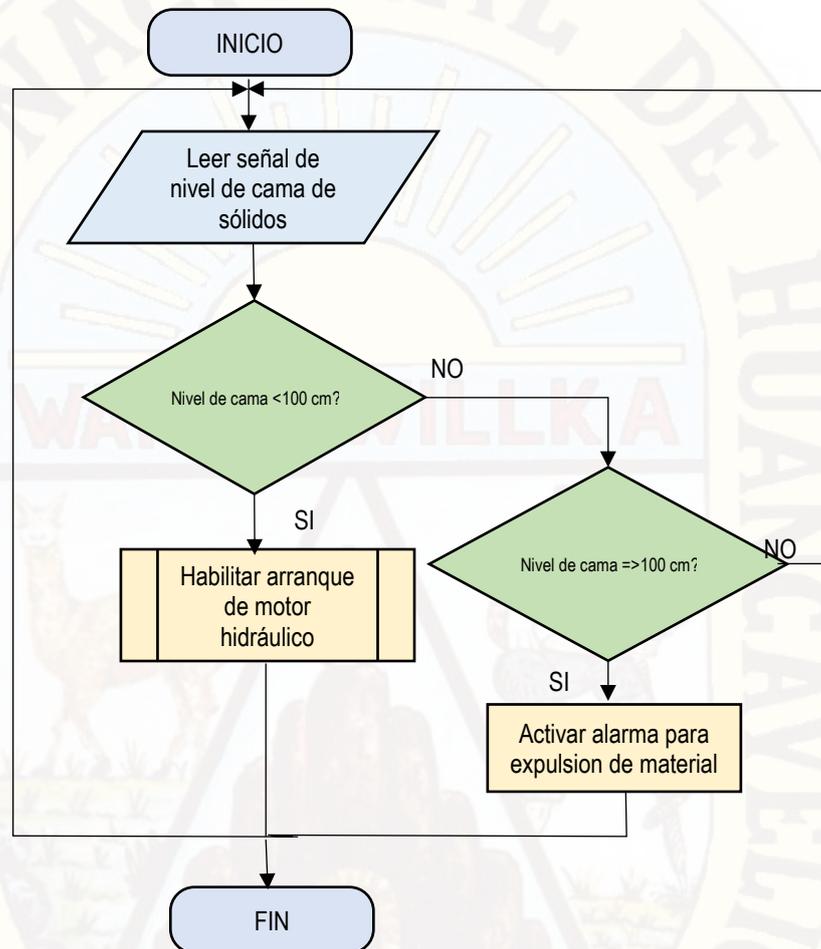


Figura 4.5. Diagrama de flujo del subsistema de control de nivel de cama de sólidos espesados.

4.1.4. Implementación e integración de los subsistemas de control automático

4.1.4.1. Instrumentación propuesta del proyecto

Los datos a ser adquiridos provienen de transmisores de torque, nivel, temperatura, interruptores de seguridad y otros instrumentos asociados a la rastra. Para su integración se ha realizado la centralización de datos

digitales y analógicos en el controlador PLC micrologix1100 y la implementación de protocolo MODBUS RS-485 mediante el uso de un conversor modbus TCP a DF1 para poder enviar los datos a la sala de control principal. En la programación de los PLCs Micrologix 1100 se utilizó el software RSLogix 500, donde se desarrolló una secuencia para adquisición lógica y de control de los equipos conectados a la rastra.

Como parte del proyecto se contempla los instrumentos de medición así como de elementos finales de control indicando en un diagrama esquemático de proceso P&D, donde se encuentran todos los instrumentos existentes y elementos finales de control conectados al tablero de control 284-TK-052-CP01.

En la tabla 4.4, se muestra el listado de instrumentos asociados a la rastra, los que permiten el control adecuado de las variables inmersos en la investigación.

Tabla 4.4. Listado de instrumentos asociada a la rastra.

Tag	Tipo de instrumento
284-PSV-1112	Válvula de regulación de presión
284-TSH-1113	Interruptor de temperatura alta
284-PSV-1114	Válvula de regulación de presión
284-LI-1115	Indicador de nivel
284-LSL-1116	Interruptor de nivel
284-PSL-1117(PDSH)	Interruptor de presión
284-PI-1118	Indicador de presión
284-LSL-1121	Interruptor de nivel
284-ZIT-1141	Transmisor de posición
284-ZSH-1141	Interruptor de posición
284-LE-1151	Sensor de nivel ultrasónico
284-LIT-1151	Transmisor de nivel ultrasónico
284-PIT-1152	Transmisor de presión
284-AE-1154	Analizador de turbidez
284-AIT-1154	Analizador de turbidez
284-OSHH-1101/A	Interruptor de torque alto
284-OIT-1102	Transmisor de torque
284-YV-1131/A	Estado de eventos
284-YV-1131/B	Estado de eventos
284-YV-1141/A	Estado de eventos
284-YV-1141/B	Estado de eventos

Fuente: Chinalco Perú S.A. Departamento de Ingeniería 2014

- **Electroválvula de subida y bajada de la rastra (YV-1141A/1141B)**

La válvula es el elemento final de control on/off, comúnmente utilizado en todo sistema de control, es básicamente, un orificio de restricción y su función consiste en abrir y cerrar, de acuerdo con una señal de control, enviado del PLC al solenoide YV-1141A/1141B y se abre el puerto de la válvula direccional para dejar ingresar la presión hidráulico al cilindro para la elevación y bajada de la rastra.

- **Electroválvula de giro delante/atrás On/Off (YV-1131A/B)**

La válvula de control es el elemento final de control on/off (ver Figura 4.8) comúnmente utilizado en todo sistema de control, es básicamente, un orificio de restricción y su función consiste en abrir y cerrar, de acuerdo con una señal de control, enviado del PLC al solenoide y se abre el puerto de la válvula direccional para dejar ingresar la presión hidráulica al cilindro para girar adelante y atrás.

Sus principales características son:

- Rango del instrumento:
- Consumo de Potencia: 35 W
- Grado de protección IP 65
- Alimentación: 110 V_{Ac}
- Fabricado: REXROTH
- Modelo: 5-4 WE10H 3X/
- Presión de manejo: Ports A, B, P 315 psi/ Port T 210 psi

- **Medición del torque (OIT-1102)**

La presión hidráulica se indica en una pantalla digital, en una escala 0-100%. La señal es generada por un transmisor de presión que transmite 4 a 20 mA al PLC y al cliente vía MODBUS montado en la unidad de poder hidráulico. La presión hidráulica es directamente proporcional al torque de la rastra. En caso que el torque supere una presión equivalente al 95% del torque, el interruptor de presión se desconectará y detendrá el mecanismo de rotación de la rastra. La protección final contra el torque alto es el uso de una válvula de alivio de presión. Esta señal puede usarse también para controlar el retiro de la descarga inferior. Interruptor del nivel de aceite del reductor, el reductor planetario está equipado con un interruptor de nivel de aceite que activa una alarma en el panel de control y en los SCD cuando el nivel de aceite cae por debajo del nivel seguro.

Sus principales características son:

- Rango del instrumento: de -14.7 a 4000 psi
- Comunicación: Hart + 4 a 20 mA dc
- Grado de protección NEMA 4X
- Alimentación: 10.6 a 36 V_{DC}
- Fabricado: Rosemount
- Modelo: 2088G4S22A1
- Tipo de elemento: Gage Pressure Transmitter
- Conexión al proceso: ½ NPT hembra

- **Presión equivalente al torque**

La señal de presión equivalente al torque proviene del transmisor de presión montado en la unidad de poder hidráulico de la rastra. En la tabla 4.1 se muestra lectura de torque del espesador presentado en % y se toma registro 0 % cuando el espesador sin carga y cuando en la rastra se registra 100 % representa alto torque %, al cual no se debe llegar de acuerdo a las especificaciones técnicas del equipo, para salvaguardar el equipo, debiendo desactivar el mecanismo de rotación solo al 95 %. Es decir a una señal de 19.2 mA.

- **Interruptor del nivel de aceite de la unidad de poder (LSL-1116)**

Detecta el nivel de aceite en el tanque de la unidad de poder y se activa cuando llega al límite inferior y detiene la bomba hidráulica

Sus principales características son:

- Grado de protección: IP65
- Salida Discreta: Contacts NC a baja aceite close at lower fluid level
- Fabricado: Stauff
- Modelo: SNK Series
- Rango máx.: De operación temperatura: 194°F (90°C)
- Conexión al Proceso: 1/2 NPT

- **Interruptor de temperatura (TSH-1113)**

Monitorea la temperatura del aceite en el tanque de la unidad de poder y se configura para lectura de temperatura alta y baja se activa cuando llega al límite de set. Por alta temperatura detiene el motor hidráulico, heater y por baja temperatura activa el heater.

Sus principales características son:

- Rango del instrumento: -50 to 150 °C
- Comunicación: Discreta ON/OFF 24 V_{DC}
- Grado de protección: IP66
- Alimentación: DC voltaje versión 12...30 V_{DC}
- Fabricado: Endress + Hauser
- Modelo: TTR31
- Tipo de elemento: Pt100
- Material: Inox
- Conexión al proceso: NPT ½

- **Interruptor de desconexión del torque (OSHH-1101)**

Un interruptor de presión que detiene la unidad de poder hidráulica y los cilindros hidráulicos de subida de la rastra cuando el torque supera una presión equivalente al 90% del torque. A la vez se activa una alarma audible por presión alta y una luz indicadora en el panel de control se activa.

Sus principales características son:

- Rango del instrumento: 350bar
- Grado de protección IP65
- Salida: Contacto NO/NC 250 AC 3 polos + PE 250 V; 5 A
- Fabricado: Bosch Rexroth AG
- Modelo: HED8 OA 12/350K14
- Tipo de elemento: resorte de compresión
- Material: Inox
- Conexión al proceso: ½" NPT fémale

- **Interruptores de límite de elevador de rastra (ZSH/ZSL-1142)**

Interruptores de límite accionado por contacto que indican que la altura más alta o la altura más baja de la rastra se ha alcanzado la señal normalmente (NC) es cerrado en condiciones normales

Sus principales características son:

- Grado de protección: NEMA 1,2,3,4,12; IEC Type IP66
- Salida: Contacto SPDT (N.O. + N.C.) Non-plug-in: 300 V_{AC} (A300) and DC (Q300)
- Fabricado: Schneider-electric
- Modelo: XCKJ10541
- Conexión: 1/2" NPT standard
- Tipo de elemento: Por contacto

- **Indicador de altura de la rastra (ZIT-1141)**

El indicador de altura de rastra mide qué tan alto se han elevado las rastras, este instrumento genera una señal de 4 a 20 mA, enviado al PLC y también al cliente vía MODBUS lo que representa una altura de la rastra de 0 a 100%. [6] este instrumento está configurado para que opere dentro de los límites del SWITCH de torque.

- Alarm High – High donde el máximo nivel de rastra es 100% detiene la subida
- Alarm Low – Low donde el mínimo nivel de rastra es 0% detiene la bajada

Sus principales características son:

- Rango del instrumento: 0.25 m to 12 m (10" to 40 ft) liquid
- Grado de protección: Type 4X /NEMA 4X, Type 6 / NEMA 6, IP67, IP68
- Salida: 4–20 mA + Hart
- Fabricado: Siemens
- Alimentacion: Nominal 24 V_{DC}
- Modelo: SITRANS Probe LU 7 ML

- Tipo de elemento: Ultrasonico de 54 KHz
- Material: PVDF Copolymer
- Conexión al proceso: 3" (80 mm) universal brida

- **Detector de nivel de cama (LIT-1151)**

El nivel de cama se detecta mediante un dispositivo tipo sonar interface. El sensor de nivel de cama genera una señal de 4 a 20 mA, que envía al PLC y envía al cliente via MODBUS lo cual representa un nivel de cama de 0 a 100%.

Sus principales características son:

- Rango del instrumento: 0-30 mts
- Grado de protección: Remote Transducer IP68.
- Salida: 4–20 mA + Hart / HART, Modbus, Profibus DP,
- Fabricado: Hawk
- Alimentación: 90 – 260 V_{AC} 50 / 60Hz / 24 V_{DC}
- Modelo: Orca 234
- Tipo de elemento: Sonar transductor 30 kHz, 150 kHz, 300 kHz
- Material: Fibra de vidrio de alta temperatura, se debe usar w / máscara de fibra de vidrio.

- **Transmisor de nivel de masa (PIT-1152)**

El transmisor de nivel de masa monitorea la presión del fluido en la parte inferior del espesador y reporta el nivel de masa como un porcentaje de dos valores de ajuste inicial, el transmisor devuelve una señal de 4-20 mA al panel de control. Esta señal puede usarse para controlar el retiro de descarga inferior.

Sus principales características son:

- Rango del instrumento: 0-4 bar
- Grado de protección: IP 66
- Salida: 4–20 mA + Hart

- Fabricado: Endress+Hauser
- Alimentación: 24 V_{DC}
- Modelo: PMC-45RC-11MCJ11YY1
- Tipo de elemento: sensor piezorresistivo con diafragma de metal
- Material: 316L

4.1.4.2. Edición del programa

La programación del sistema de control se desarrolló en base a los diagramas de flujo de las figuras 4.2, 4.3 y 4.4, empleando el software RsLogix 500 Pro, para el autómatas Micrologix 1100 serie B. Para hacerlo seleccionamos el procesador a emplear como el de la Figura 4.7.

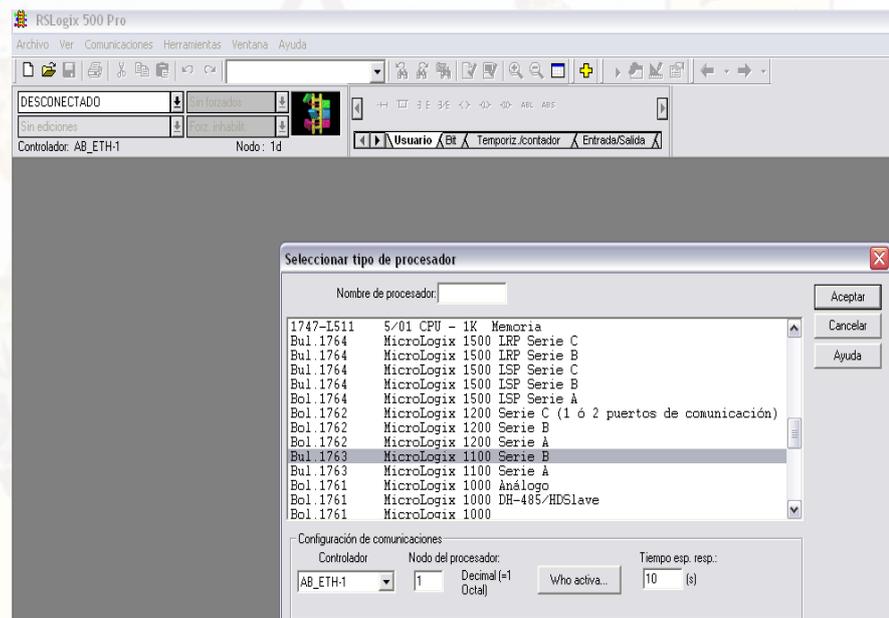


Figura 4.7. Selección del procesador en Rslogix 500 Pro.

Las diferentes instrucciones del lenguaje Ladder se encuentran en la barra de instrucciones al presionar sobre alguno de los elementos de esta barra estos se introducirán directamente en la rama sobre la que nos encontremos. A continuación, se presenta las subrutinas empleadas en la implementación del proyecto de investigación.

- a. Subrutina LAD 2_INI, esta subrutina llama a cada una de las subrutinas cuando las necesita. La función para llamar a las subrutinas es Jump to Subrutina (Figura 4.8) en donde especifica la subrutina que desea saltar.



Figura 4.8. Subrutina principal

- b. Subrutina LAD 3_PRIN. Esta subrutina de secuencia lógica en ladder permite que el tablero de control este habilitado es decir el bit (OK CONDITIONS) este activado

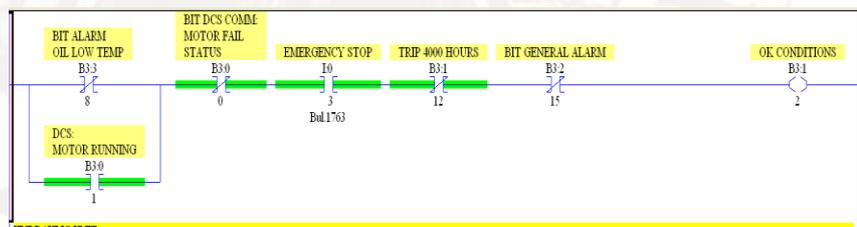


Figura 4.9. Condición para habilitar el arranque

Esta secuencia lógica es para indicar el estado de encendido y apagado de la bomba de la unidad hidráulica.

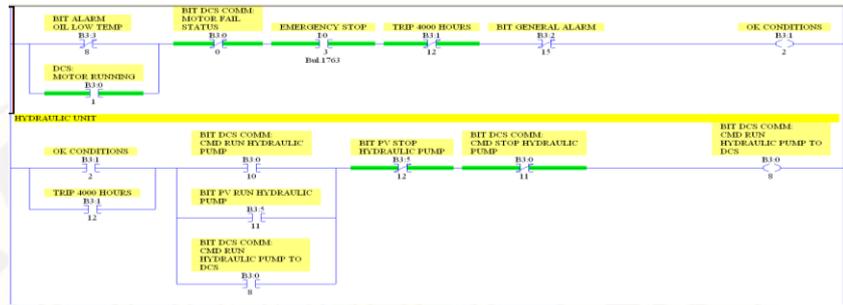


Figura 4.10. Confirmación de la unidad hidráulica.

Esta secuencia es para poner en marcha la rastra en sentido horario (RAKE FORWARD) y en sentido anti horario (RAKE REVERSE)

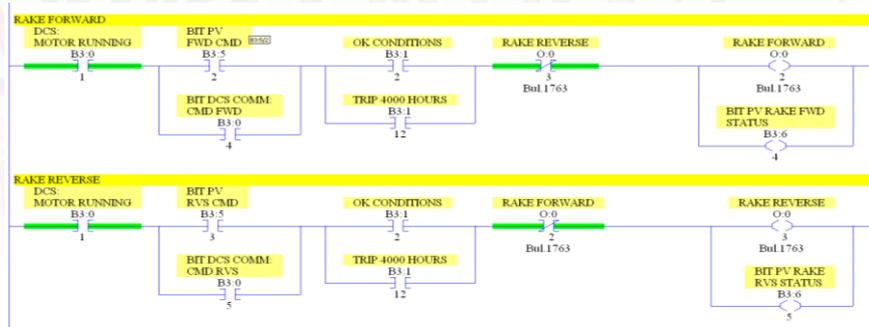


Figura 4.11. Confirmación de la rastra.

Esta secuencia nos permite bajar las rastras

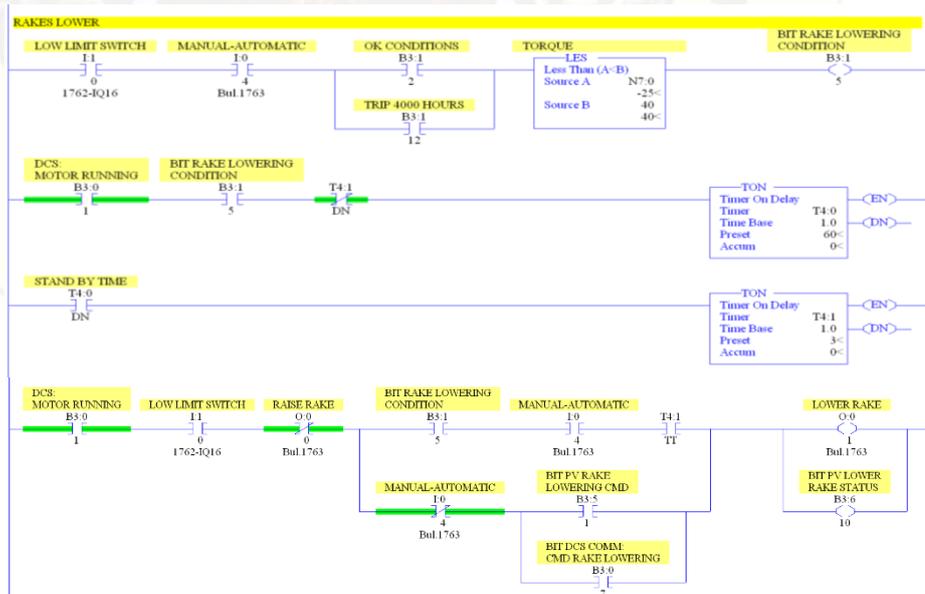


Figura 4.12. Confirmación de bajada de la rastra.

- c. Subrutina LAD 4_ANAL. En esta subrutina se realiza escalamiento para visualizar las señales analógicas provenientes del espesador y unidad hidráulica



Figura 4.13. Escalamiento de Torque y nivel de cama.



Figura 4.14. Escalamiento de Nivel de cama y turbidez.

- d. Subrutina LAD 5_ALM. Esta subrutina permite indicar las señales de alarma por la fallas en la unidad hidráulica.

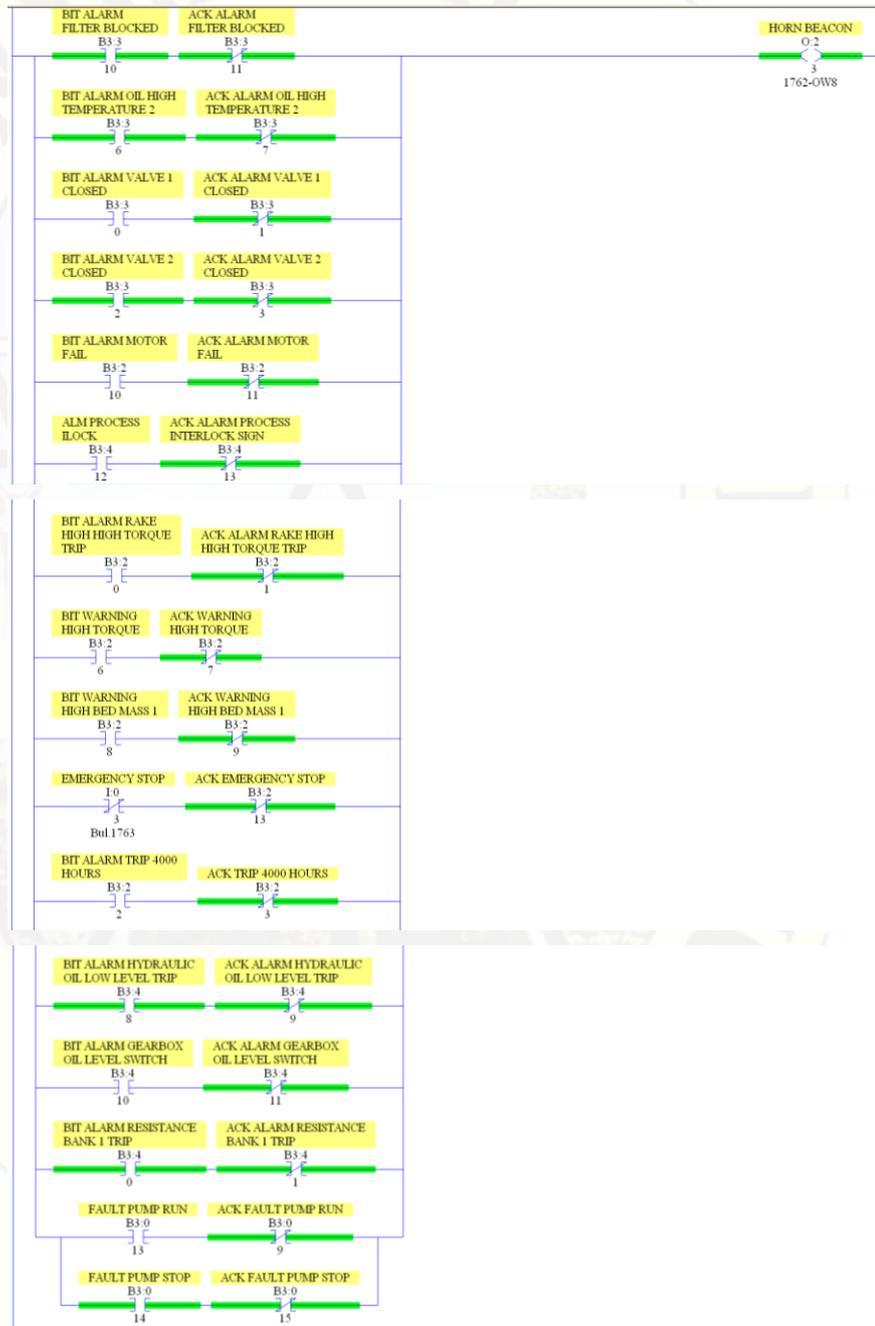


Figura 4.15. Confirmación de alarma en la unidad hidráulica.

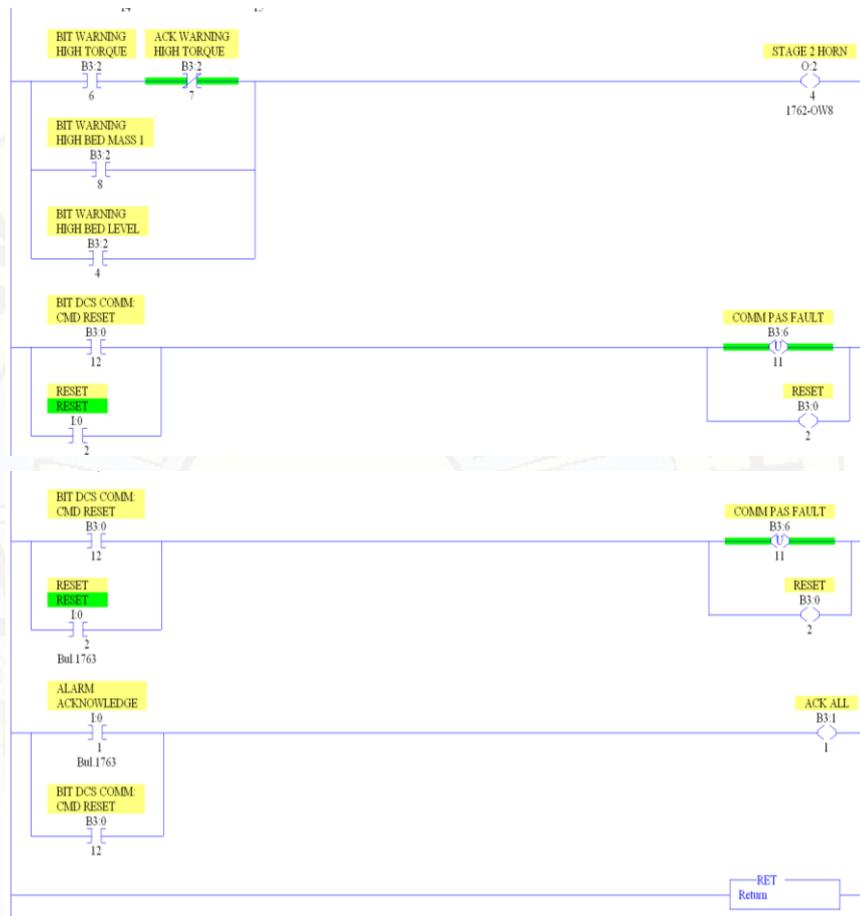


Figura 4.16. Confirmación general de alarma.

- e. Subrutina LAD 5_LIGTH. Esta subrutina indica si está bien los interruptores y pulsadores del tablero de control.



Figura 4.17. Bit de prueba de componentes.

f. Subrutina LAD 11_PAS. En esta subrutina se mapea los bits de confirmación hacia la sala de control.



Figura 4.18. Mapeo de señales a sala de control principal.

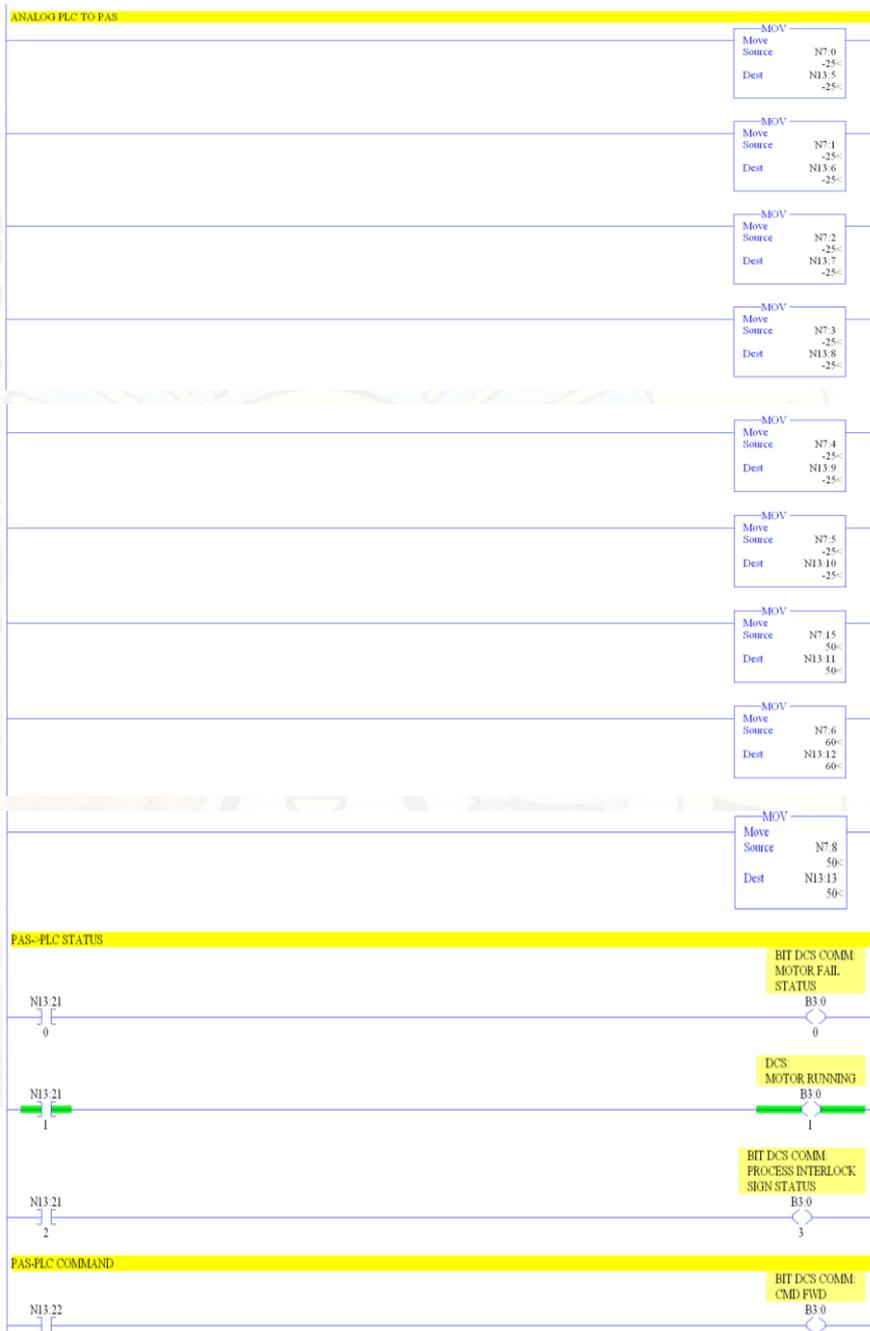


Figura 4.19. Mapeo de señales a sala de control principal (continuación).



Figura 4.20. Mapeo de señales a sala de control principal (continuación).

4.1.4.3. Implementación de la interface HMI

El software para visualización de datos se ha desarrollado utilizando FactoryTalk View Studio – Machine Edition, a continuación se describe las funciones básicas que se utilizaron para crear las pantallas de visualización de datos que han sido descargados en la pantalla táctil PanelView Plus 1500.

- **Creación de Proyecto 284TM052**

Para crear un nuevo proyecto en una nueva aplicación en “File>New Application”. En la ventana que aparece se asigna el nombre del proyecto, una descripción y la zona horaria.

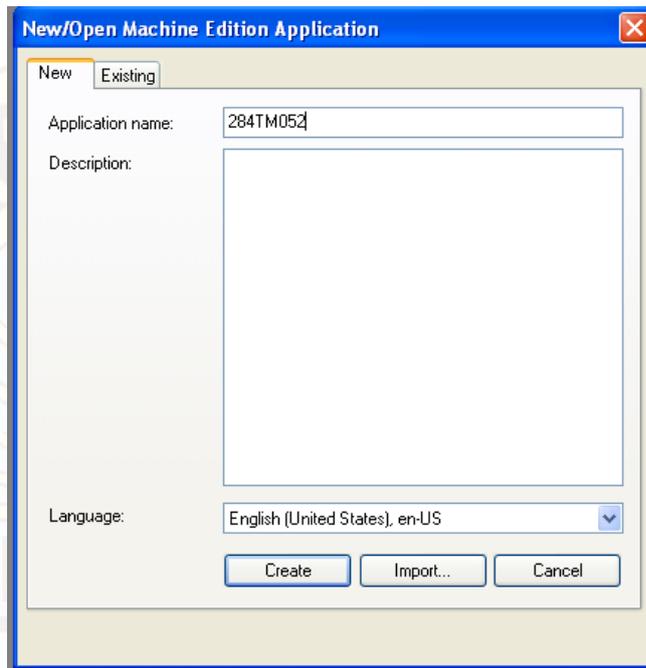


Figura 4.21. Creación de nueva aplicación.

A continuación se abre la ventana de la Figura 4.22 para seleccionar la resolución de pantalla acorde al equipo con el que se cuenta, en el caso del sistema de visualización la resolución es 1024x768.

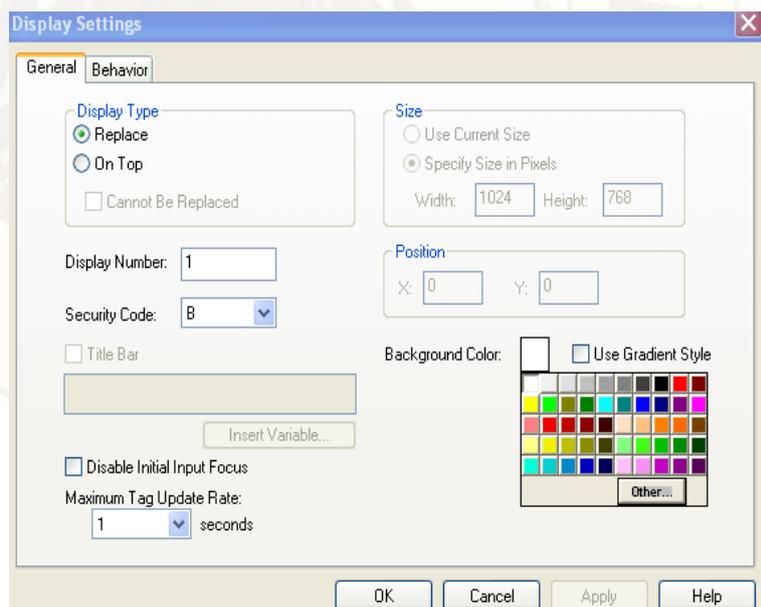


Figura 4.22. Propiedades de pantallas.

- **Importación de tag para visualización**

Para la adquisición de datos se puede utilizar directamente los tags creados en el autómata ControlLogix, para esto es necesario que el PLC y el PanelView se encuentren conectados por medio de una red LAN y que exista el enlace por medio del software RSLinx Enterprise Lite. Para importar los tags del PLC al PanelView se da doble click en “RSLinx Enterprise” y se crea una nueva configuración.

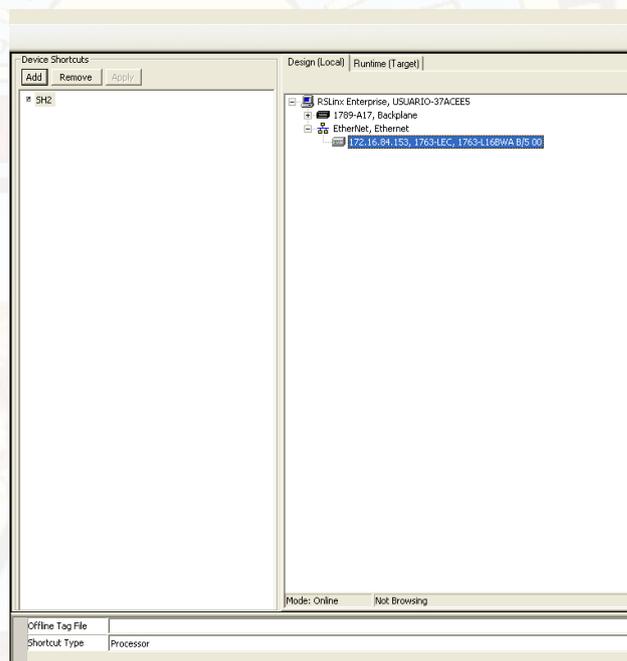


Figura 4.23. Importe de tags desde Micrologix 1100

En la ventana que aparece se dirige a “Device Shortcuts>Add” y se da un nombre de referencia, se ubica al controlador del que se importan los tags y se hace click en “Apply”, para finalizar se hace click en “Copy from Design to Runtime”, con opciones. La primera es seleccionar directamente el tag dando un click en la opción Tag y de ser necesario realizar una operación matemática para escalarla a las unidades requeridas, mientras la segunda opción es dando click en “Exprn”.

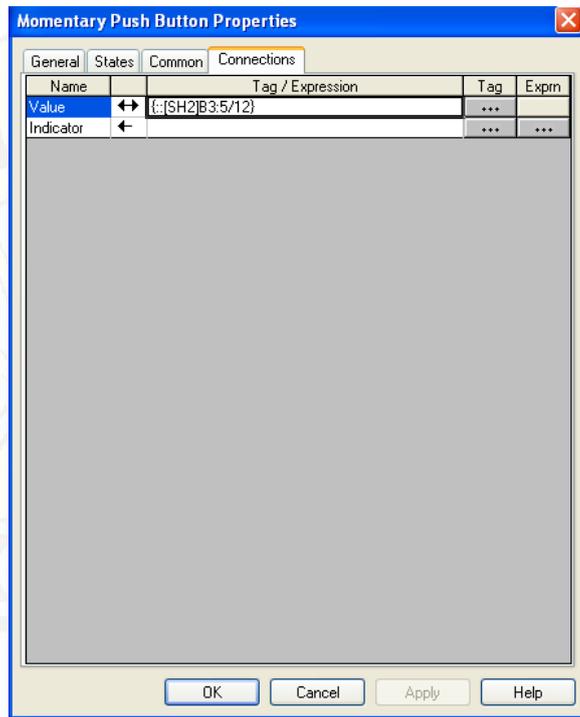


Figura 4.24. Selección de tag a visualizar.

En la opción “Exprn” es posible realizar varias operaciones matemáticas, lógicas, comparativas, etc.

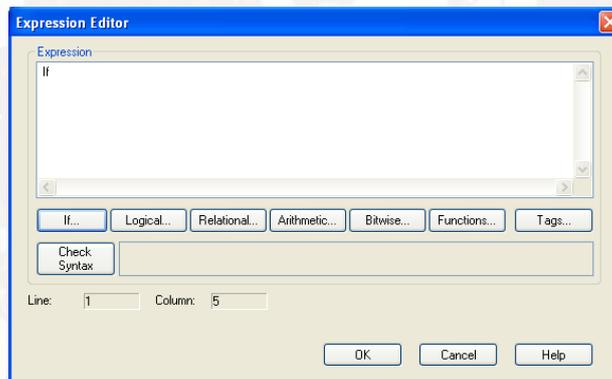


Figura 4.25. Operaciones sobre tags a visualizar

- **Creación de indicadores de estado múltiples**

El indicador de estado múltiple muestra el estado actual de un proceso u operación, mostrando un color, leyenda o imagen diferente para reflejar diferentes estados. Se puede configurar los valores de estado

del indicador de estado múltiple. Luego, en tiempo de ejecución, el objeto muestra el estado cuyo valor coincide con el valor del indicador de conexión a la fuente de datos.

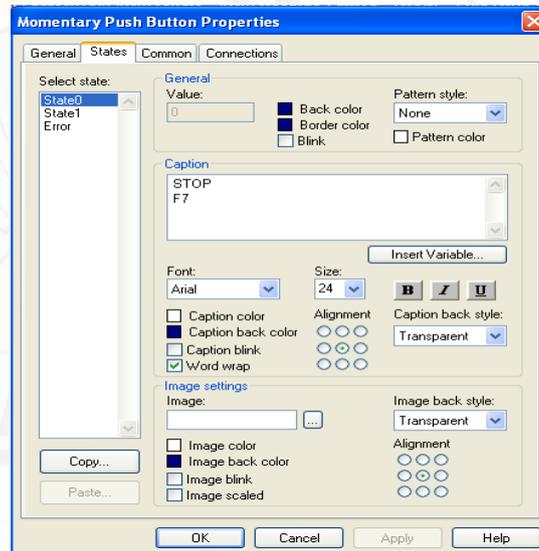


Figura 4.26. Parámetros de estado de indicadores de estado múltiple.

En la pestaña “States” se configuró la forma del indicador en cada estado, y los valores que determinan en que estado se encuentra, estos valores dependen del tag que se asigna del ControlLogix y la operación realizada de comparación que se realiza en la pestaña Connections. Debido a que no se puede realizar una lectura directa del estado de los breakers de cada generador, se realiza una comparación de corriente, se asume que cuando la corriente en el transformador de corriente es cero, el reconectador principal del generador estará abierto.

- **Creación de modelos de registro de datos**

Para crear graficas de tendencias y guardar eventos que ocurren en el proceso se almacena datos dentro de la memoria del PanelView 1500 creando un modelo de registro de datos (Data Log Models). En estos archivos se almacena un máximo de 15000 datos. Una vez que se llega al límite de datos almacenados, los datos ingresados se van

sobreponiendo. Se almacenó datos de tipo booleanos para mostrar los eventos del estado de los breakers de los generadores y se almacenó datos de tipo entero para graficar tendencias de carga en las centrales de generación y los ramales alimentadores.

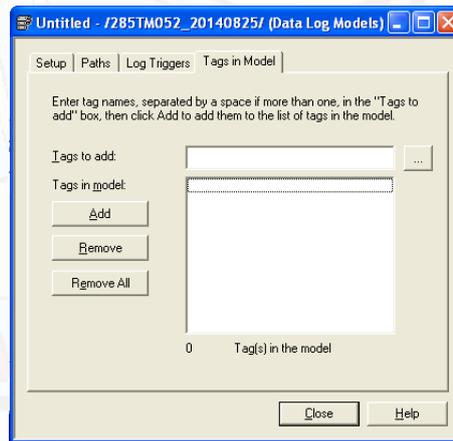


Figura 4.27. Tags agregados a registros de datos

4.1.4.4. Descripción de las pantallas creadas

- **Pantalla principal de proceso**

Esta pantalla se muestra cuando se inicia la ejecución de la aplicación en el PanelView 400.

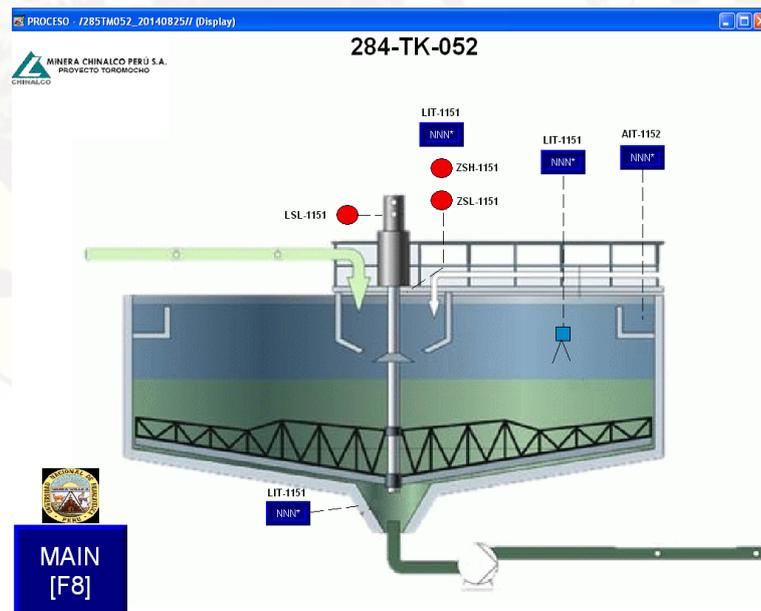


Figura 4.28. Pantalla inicial

Para ir a la pantalla principal se necesita presionar en el botón “SESA”, y para salir del sistema totalmente se presiona en el botón rojo de la esquina derecha inferior y el PanelView se reinicia totalmente.

- **Pantalla de mando**

La pantalla de mando del sistema de control permite realizar giros y movimientos de la rastra del espesador clarificador por medio de las teclas de funciones, en dos formas: automática y manual.

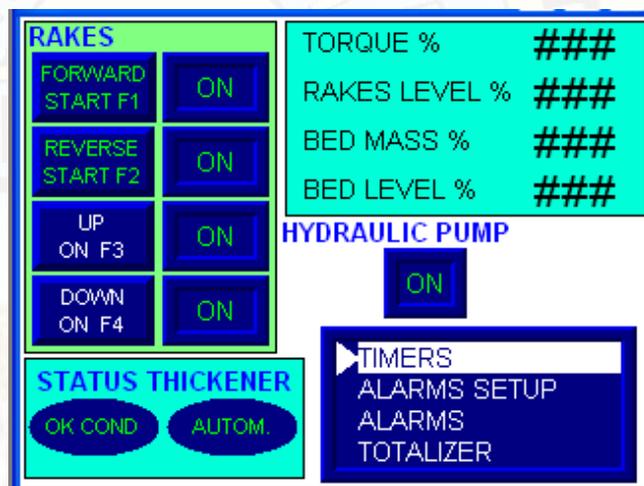


Figura 4.29. Panel de mando.

Teclas:

Forward (F1).- Nos permite realizar el giro de las rastras hacia delante. Siempre y cuando esté deshabilitada la Tecla de Reversa (Off).

Reverse (F2).- Nos permite realizar el giro de las rastras hacia atrás. Siempre y cuando esté deshabilitada la Tecla de Adelante (Off).

Up (F3).- Nos permite en Operación Manual subir las rastras. Siempre y cuando el Switch de Rastras Totalmente Arriba y la señal de Bajada de Rastras están desactivadas.

Down (F4).- Nos permite en Operación Manual bajar las rastras. Siempre y cuando el Switch de Rastras Totalmente Abajo y la señal de Subida de Rastras están desactivadas.

Display: Alarms.- Nos permite acceder al histórico de alarmas.

Alarms Setup.- Permite configurar los valores de Bed Mass y Bed Level para los cuales se emitirá una alarma visual y sonora.

Totalizer.- Donde visualizamos las horas de operación del espesador.

Reset.- Permite resetear el horómetro del espesador.

Resistance.- Muestra el status ON/OFF de los bancos de resistencia y el ventilador.

Login.- Permite entrar con diferentes usuarios y tener acceso a más pantallas dentro de la aplicación, también permite un deslogeo.

Config.- Para ingresar a la configuración del Panel View.

Timers.- Permite cambiar los tiempos del ciclo de bajada de rastras en automático.

Signs.- Permite visualizar los valores de las señales analógicas.

- **Pantalla de Login**

Permite acceder a más pantallas dependiendo del usuario con el que se haya ingresado. Inicialmente se tiene acceso a todas las pantallas excepto a Configuración, Reset y Tiempos. Si se quiere acceder a las demás pantallas tenemos que ingresar el usuario y password. El nombre de usuario es igual al password, se tienen los siguientes usuarios:

- 1450: Brinda acceso a todas las pantallas menos a la de Configuración.
- 1451: Brinda acceso a todas las pantallas sin excepción.

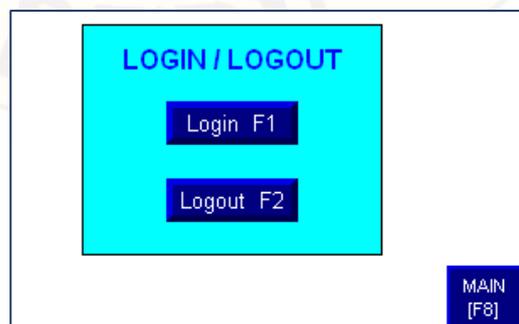


Figura 4.30. Pantalla de login/logout.

Teclas:

Login F1 (F1).- Nos permite acceder a la pantalla de Logeo donde se ingresa el usuario y password.

Logout F2 (F2).- Permite al usuario regresar al nivel de seguridad estándar.

Main (F8).- Nos retorna a la pantalla de INICIO.

- **Pantalla de horómetro del espesador clarificador**

En esta pantalla se establece la hora de operación de la bomba hidráulica, puede ser reconfigurado y reiniciado.

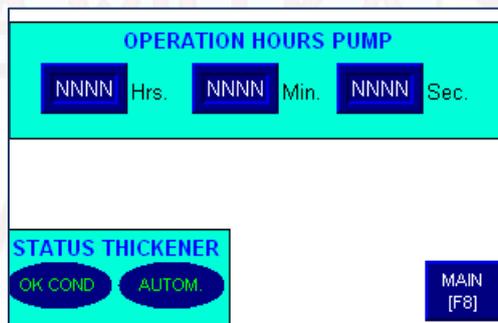


Figura 4.31. Horómetro

Teclas:

Main (F8).- Retorna a la pantalla principal.

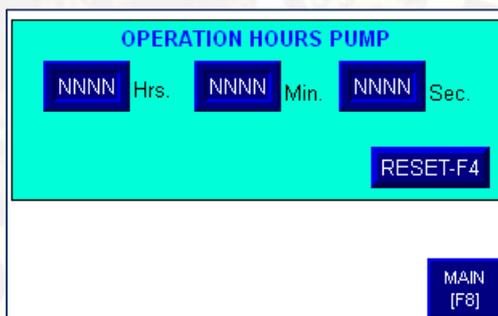


Figura 4.32. Pantalla de reset de horómetro del espesador clarificador.

Reset (F4).- Retorna a cero el horómetro del espesador.

Main (F8).- Retorna a la pantalla principal.

- **Pantalla de configuración**

Desde esta pantalla se accede a la configuración interna del Panel View Plus y se realiza cambios como zona horaria, fecha, intensidad de la pantalla, etc. Se puede cerrar la aplicación actual y cargar otra que este en la memoria del PV.

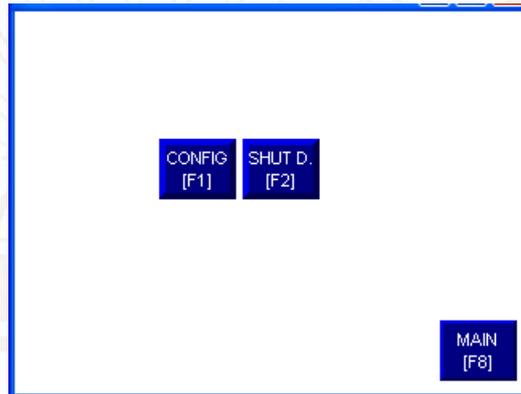


Figura 4.33. Pantalla de configuración.

Teclas:

Config (F1).- Detiene la aplicación y abre el cajetín de dialogo del RS View ME Station

Shut D. (F2).- Detiene la aplicación y sale del RS View ME Station.

Main (F8).- Retorna a la pantalla principal

- **Pantalla de configuración de tiempos**

Permite establecer los tiempos de espera para bajada y subida de la rastra des espesador.

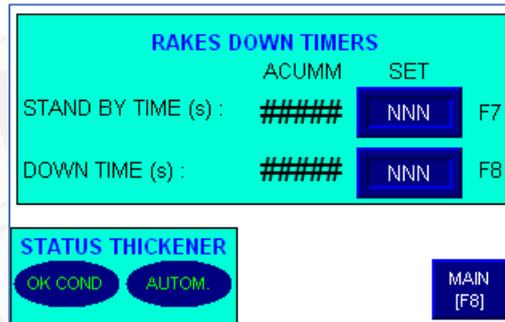


Figura 4.34. Configuración de tiempos

Teclas:

Stand by time (F7).- Permite cambiar el tiempo de espera para la bajada de rastras.

Down time (F8).- Permite cambiar el tiempo de activación de la señal para la bajada de rastras.

- **Pantalla de configuración de alarmas**

Permite configurar las alarmas con indicación sonora que no paran el equipo.

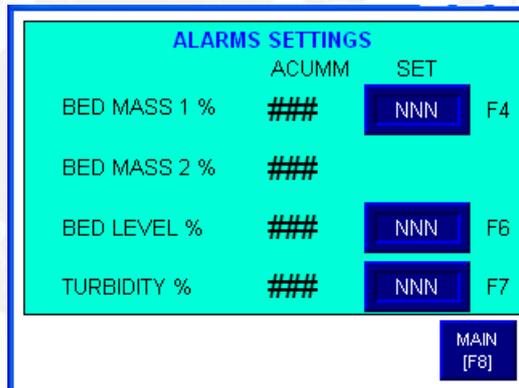


Figura 4.35. Configuración de alarmas

Teclas:

Seteo bed mass (F4).- Permite cambiar el valor de Bed Mass a partir del cual se generará una alarma sonora pero que no para al equipo.

Seteo bed level (F6).- Permite cambiar el valor de Bed Level a partir del cual se generará una alarma sonora pero que no para al equipo.

Seteo turbidity (F7).- Nos permite cambiar el valor de Turbidez a partir del cual se generará una alarma sonora pero que no para al equipo.

- **PANTALLA DE ALARMAS**

Esta pantalla tiene como función mostrar el historial de alarmas del sistema, muestra simultáneamente los últimos 23 registros de alarma del sistema, se despliega cuando el usuario pulsa el botón de flechas “arriba” y “abajo” Ver historial de alarmas en la pantalla Actual, figura 4.36.

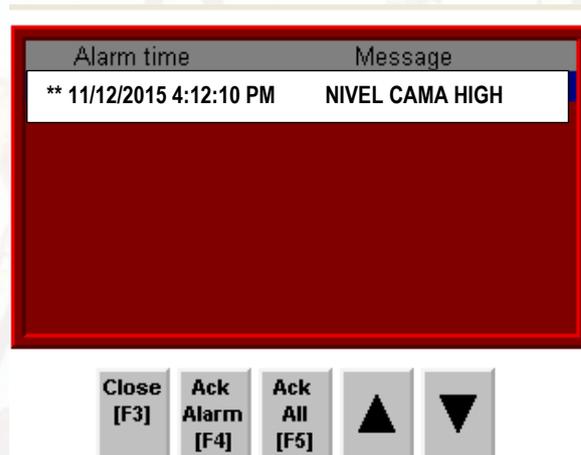


Figura 4.36. Pantalla de alarmas

El sistema está diseñado para que cuando el usuario detecta una alarma, primero resuelva el problema que ocasionó la alarma y el sistema detecte entonces que esta se normalizó, luego el usuario debe proceder a reconocer la alarma, y normalizar los estados de los instrumentos hasta poner en condiciones normales para el arranque del sistema de rastra.

Las alarmas se establecen como:

- ✓ Emergency Stop.- Detiene el espesador, se necesita reset para habilitarlo.
- ✓ Motor Overload.- Detiene el espesador, se necesita reset para habilitarlo, la señal viene de un tablero externo.
- ✓ IG Trip.- Sobrecarga del interruptor principal.
- ✓ Hydraulic Tank Oil Low Level.- Detiene el espesador, se necesita reset para habilitarlo.
- ✓ Gearbox Oil Low Level.- Detiene el espesador, se necesita reset para habilitarlo.
- ✓ Warning High Torque.- Torque mayor al 50%. No detiene el espesador.
- ✓ High Torque Trip.- Detiene el espesador, existen dos señales que pueden provocar la falla una analógica y una digital.
- ✓ Warning High Bed Level.- Nivel de Cama mayor que 60%. No detiene al espesador.
- ✓ Warning High Bed Mass.- Bed mass mayor que 50%. No detiene al espesador.
- ✓ Warning 3500 Operation Hours.- Se visualiza una alarma intermitente cada 6 minutos.
- ✓ Trip 4000 Hours.- Detiene al espesador hasta que se reseteen las horas de operación y se haga un reset al tablero.
- ✓ Valve 1 Closed.- La válvula 1 del tanque de aceite está cerrada.
- ✓ Valve 2 Closed.- La válvula 2 del tanque de aceite está cerrada.
- ✓ Oil High Temp.- Alta temperatura del tanque de aceite.
- ✓ Filter Blocked.- Indica que el filtro de aceite está bloqueado.
- ✓ Fan Trip.- Indica sobrecarga del ventilador.
- ✓ Resistance Bank 1 Trip.- Indica sobrecarga del banco 1 de resistencias.
- ✓ Resistance Bank 2 Trip.- Indica sobrecarga del banco 2 de resistencias.
- ✓ VSD Fault.- Indica falla de drive vía comunicación.

Teclas:

- Close (F3).- Cierra la pantalla de alarmas.
- Ack alarm (F4).- Hace un reconocimiento de la alarma en la cual estemos ubicados.
- Ack all (F5).- Hace un reconocimiento de todas las alarmas.

4.1.4.5. Control local de panel

El panel de control se implementó con NEMA 4X suministrado por Outotec, y se instaló en el ambiente del espesador clarificador para control manual de la rastra, incluye botoneras de control, indicadores, y selector para el control automático/manual, también incorpora un panel view para control de variables. Se utiliza para el control local del espesador. Se puede conectar con el sitio donde están los CLP / SCD para recibir los comandos de control y dar las señales de monitoreo. Una luz indicadora muestra si los botones de control locales están activos.

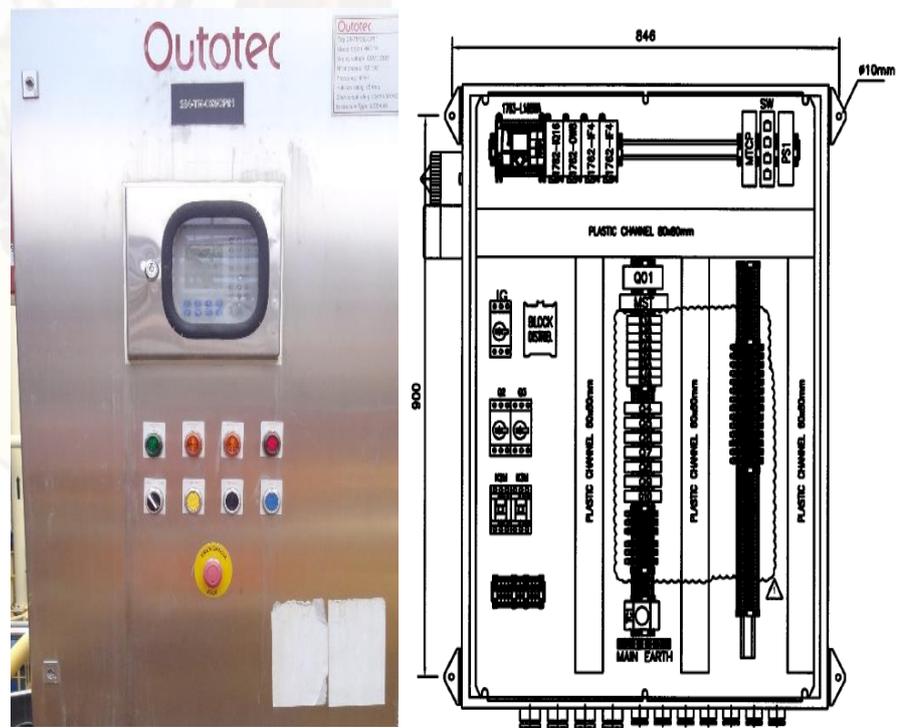


Figura 4.37. Tablero de control.

El panel de relay del espesador incluye lo siguiente:

- Botón de Parada de Emergencia (PB4): este pulsador está directamente conectado al PLC y parada de emergencia del motor hidráulico de la unidad conectado al MCC
- Selector local/remoto (S1): el selector habilita el control de modo manual o automático desde un PLC para control de la rastra
- Botón de reset de alarma (PB1):
- Botón de reset de sirena (PB1)
- Botón de prueba de lámpara (PB1)
- Controles de la unidad de poder hidráulico (L1)
- Indicadores de elevación de la rastra (L3): La lámpara ilumina cuando el solenoide de la válvula es energizada por el PLC
- Indicadores de bajada de la rastra (L2)
- Indicadores de alarma general (L2)

4.1.5. Puesta en marcha de la rastra

Durante el proceso de implementación del proyecto, posterior a la fase de desarrollo de la construcción, fue necesario planificar cuidadosamente los trabajos de precomisionado, comisionado, Start Up y Performance Test. Estas etapas son las más críticas y peligrosas del ciclo de vida de la instalación debido a que:

- El equipamiento va de una condición desenergizada a un estado energizado.
- Por primera vez la planta y el equipamiento es colocado bajo las pruebas.
- Se arranca las unidades hidráulica y se suministra agua al espesador.
- Las responsabilidades de la seguridad y la operación cambian del constructor al propietario.
- Precomisionado: Fase del proceso de construcción que está constituido por las tareas de ajuste y comprobaciones en frío (Sin energizar, ni

fluidos de Proceso) orientadas a garantizar la integridad de la instalación, previa a la entrega para dar paso al comisionado y puesta en marcha. Se realizan comprobación de continuidad desde instrumento de campo hacia el tablero de control.

- Comisionado: Asocia pruebas para verificar las instalaciones de la planta "Con Energía", de manera tal de alcanzar la condición de "Listo para puesta en marcha". Estas pruebas requieren energía, tanto eléctrica, como fluidos a presión.
- Puesta en marcha (Start Up): Este proceso agrupa actividades con el fin de realizar el primer arranque de la instalación, el ajuste operativo y las pruebas necesarias para garantizar el inicio de la operación y obtener los productos esperados a la salida de la instalación.
- Performance test: Parte de la Puesta en Marcha en donde se verifica la capacidad de la planta para operar en las condiciones de operación y producción previstas en el diseño.

Operación Manual:

La operación establece la dosis de floculante para mantener el nivel firme de la cama. Esto se puede hacer al permitir elevar el nivel de cama hacia un punto predeterminado y entonces ajustar la dosificación de floculante para mantener esto allí. Por otra parte, el nivel de cama puede "colapsar" por debajo del nivel de medición mediante el aumento de la dosis de más floculante. Aunque esto puede representar un funcionamiento estable, no se recomienda debido a que implica un grado de sobredosis de floculante y puede conducir a una sobrecarga ("empantanamiento") del mecanismo de la rastra.

Operación Automática:

Para esta operación se verificó inicialmente que la instrumentación y lazos de control deben estar disponibles para permitir que el control automático se ejecute, de acuerdo al siguiente detalle:

1. Alimentar al espesador: Flujómetro magnético, densímetro y módulo de cálculo de flujo de masa de sólidos.
2. Bomba de floculante: accionamiento de velocidad variable con entrada remota.
3. Bomba de descarga inferior: accionamiento de velocidad variable con entrada remota.
4. Relación de controlador
5. Dos lazos de control P&D

El modo de control automático para el espesador es como sigue:

1. La velocidad de la bomba de floculante se fija desde la relación de controlador, de tal manera que el flujo de floculante es directamente proporcional al flujo másico de sólidos en el espesador.
2. La relación se puede establecer de forma manual.

4.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE OPERACIÓN DE LA RASTRA DEL ESPESADOR CLARIFICADOR DE MOLIBDENO.

4.2.1. Resultados de operación de la rastra del espesador clarificador de molibdeno.

El procesamiento de la pulpa de molibdeno se inicia con la conducción en principio a un depósito auxiliar solidario 284-TK-051 compuesto con un agitador 284-AG-051 donde se elimina el aire y se aporta el floculante necesario para acelerar el efecto de sedimentación y es conducido al clarificador espesador. La mezcla de la pulpa/floculante pasa a la zona inferior del tanque 284-TK-052 a través de un lecho fluido creado en el fondo por los sólidos sedimentados. De este modo se fuerza el contacto de las partículas sólidas con el floculante retenido en el lecho, potenciándose así el efecto del reactivo.

La pulpa asciende a través del lecho fluido hacia la superficie, siendo evacuada por medio de un canal periférico de rebose y almacenado en columna vertical 284-TK-053, en este mismo tanque está ubicado el transmisor de nivel 284-LIT-0003 que controla el concentrado de molibdeno y trasferido con bombas 284-PP-081/082. Para el tanque 291/TK-700 y área de filtración. La interface sólido-líquido es medido con 284-LIT-1151 y formada por el lecho fluido y el agua clarificada se controla mediante el transmisor de turbiedad 284-AIT-1154. La rastra controlada gira en el fondo del tanque, empuja el lodo sedimentado hacia el cono central de descarga de donde es extraído mediante bombeo 284-PP-077/078. El control de densidad se realiza en la descarga del espesador, realizando una medición de la densidad de la pulpa a través de DIT-011/012 del espesador, de acuerdo al valor de densidad deseado es proporcional el control de los variadores de las bombas de transferencia, y se controla las válvulas para enviar la pulpa hacia la siguiente etapa o recircular la pulpa hasta que llegue a tener una densidad apropiada. La etapa de cianuración requiere que la pulpa tenga un nivel de densidad apropiado.

Los principales controles sobre el espesador se dan sobre el torque, cuya señal varía entre 0 a 2,175 psi. Cuando el torque sube excesivamente esta rastra se levanta y vuelven a bajar cuando se normaliza la operación. A través de las bombas hidráulicas 284-TM-052-M1.

Los datos de este proceso fueron obtenidos a través de los instrumentos instalados inicialmente en el proceso sin automatizar donde se tomaron 384 muestras durante la operación de la rastra (Ver Anexo 11, Tabla 11.1) en los gráficos 4.1, 4.2 y 4.3 se muestran las señales de temperatura, nivel de cama y torque de tanque hidráulico sin la automatización respectivamente, luego se tomaron igual cantidad de muestras en el mismo lapso de tiempo con el sistema de control automático implementado (Ver Anexo 11, Tabla 11.2) en los gráficos 4.4, 4.5 y 4.6 se muestran las señales de temperatura, nivel de

cama y torque de tanque hidráulico con el proceso automatizado respectivamente.

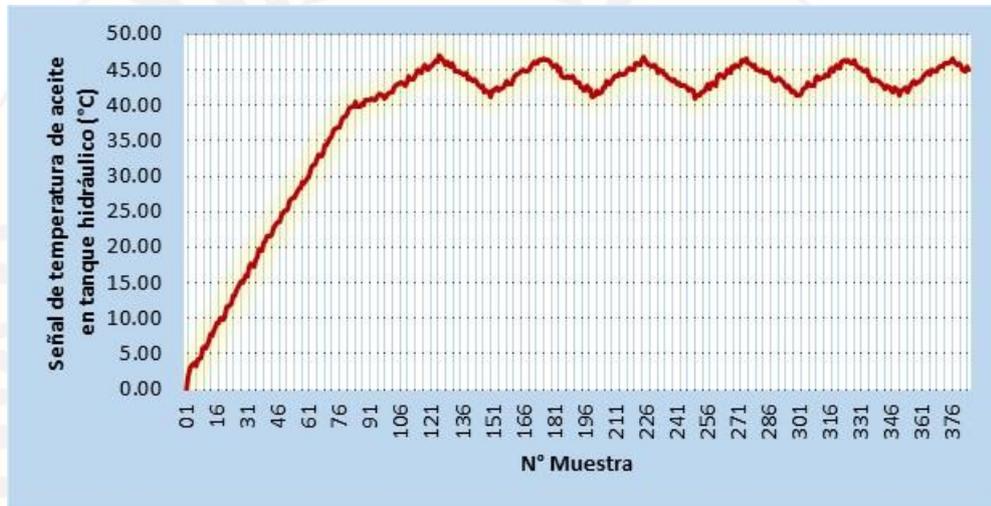


Gráfico 4.1. Señal de temperatura de aceite en tanque hidráulico en el proceso sin automatizar.

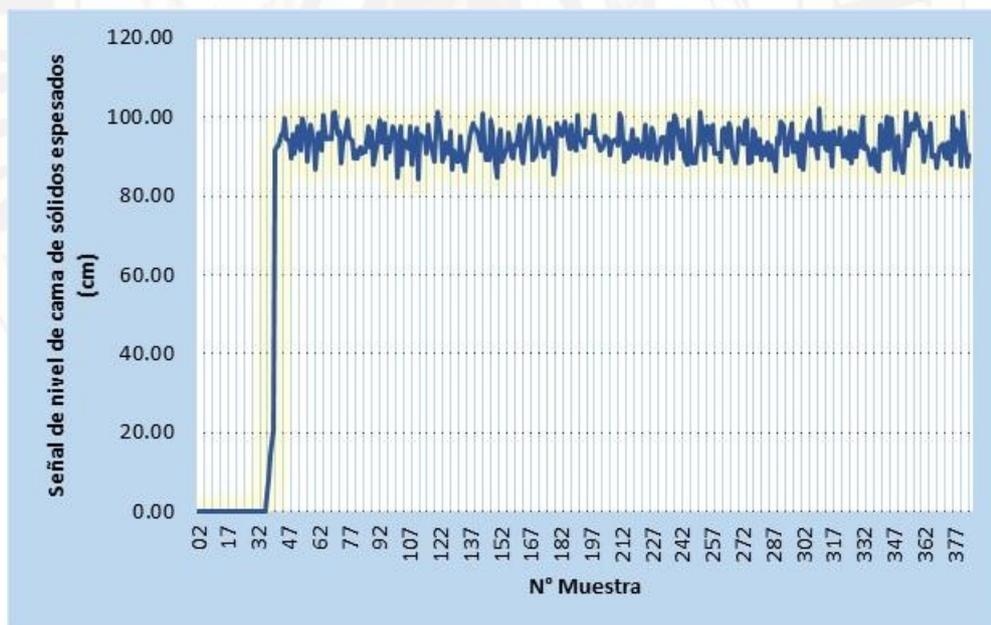


Gráfico 4.2. Señal de nivel de cama de sólidos espesados en el proceso sin automatizar.

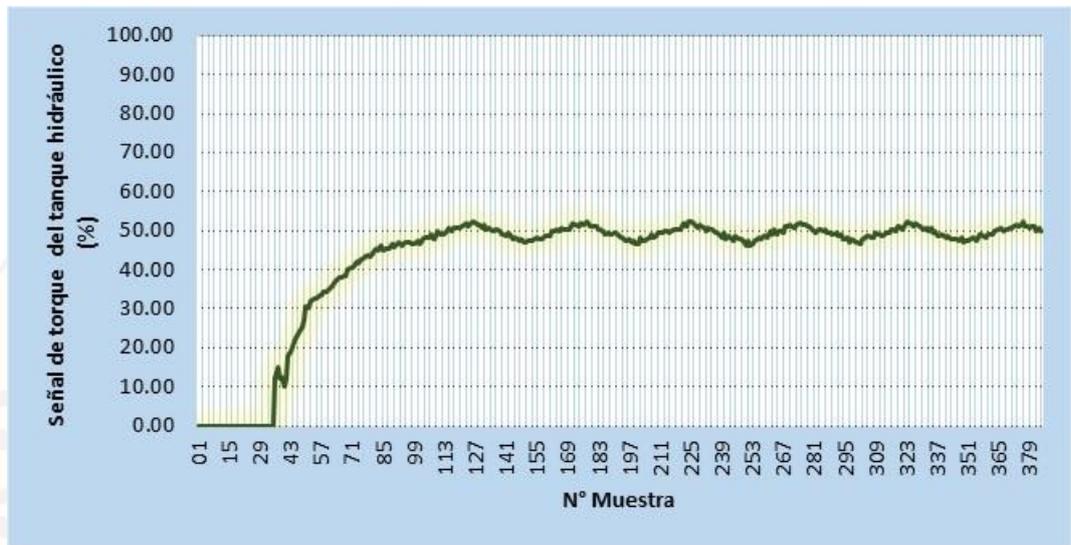


Gráfico 4.3. Señal de torque del tanque hidráulico en el proceso sin automatizar.

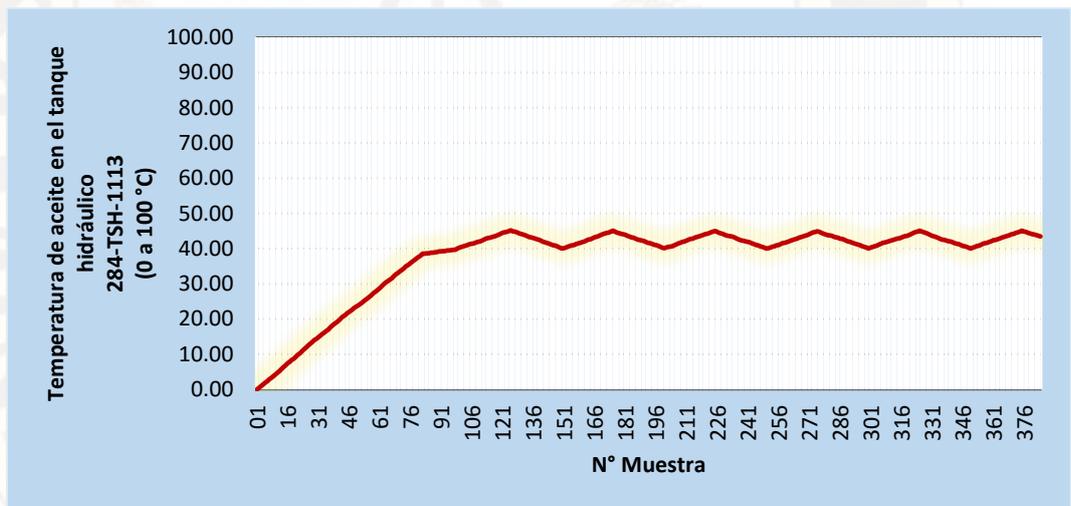


Gráfico 4.4. Señal de temperatura de aceite en tanque hidráulico con el sistema de control automático implementado.

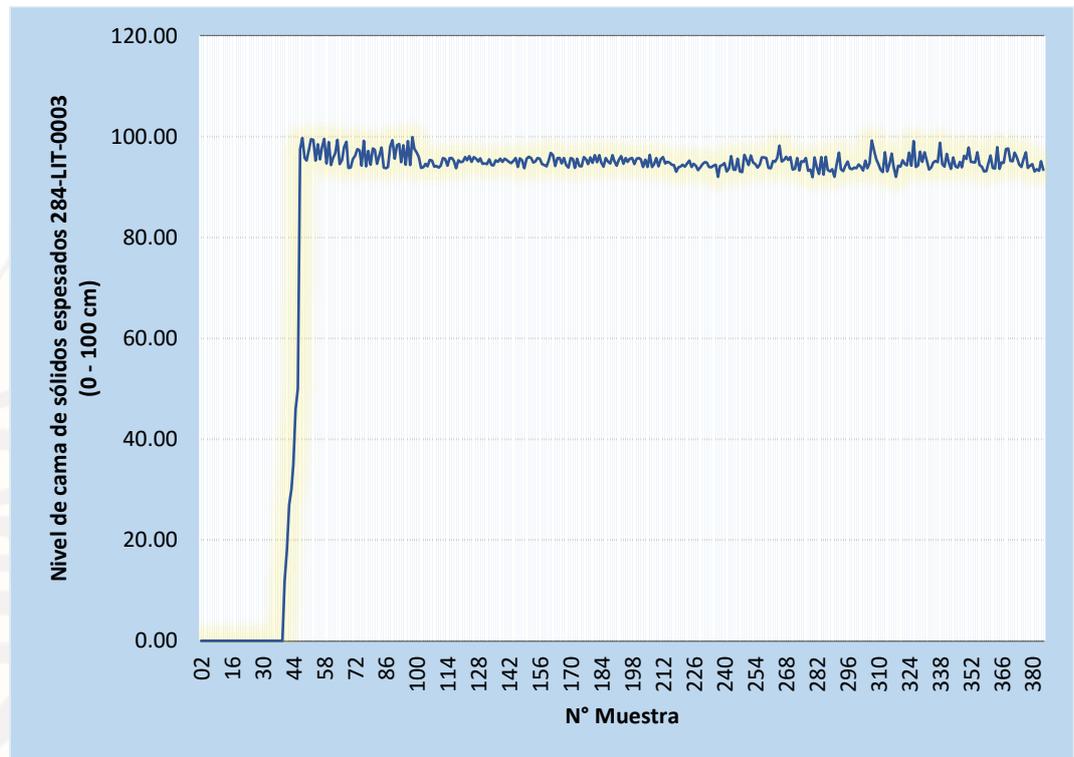


Gráfico 4.5. Señal de nivel de cama de sólidos espesados con el sistema de control automático implementado.

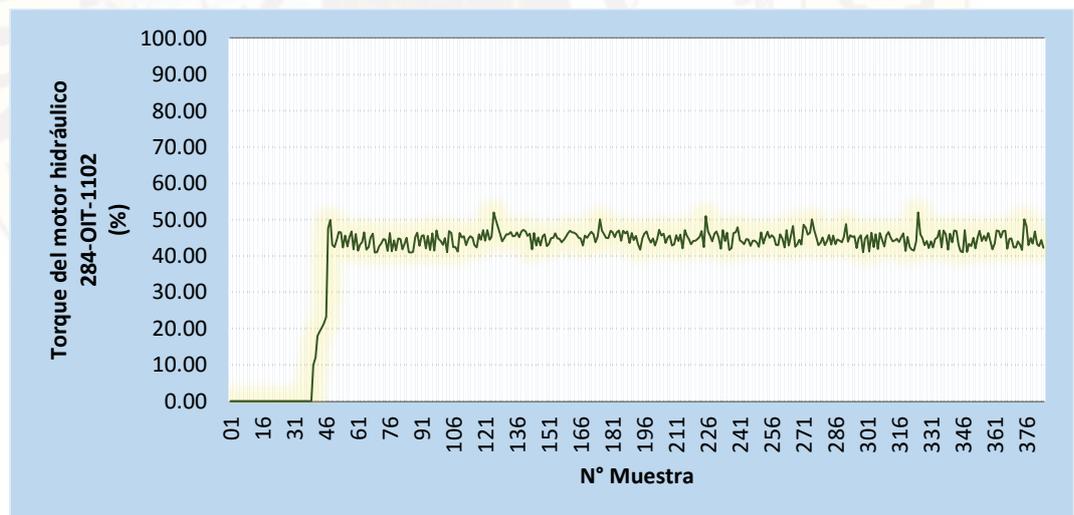


Gráfico 4.6. Señal de torque del tanque hidráulico con el sistema de control automático implementado.

4.2.2. Resultados estadísticos

- Torque en tanque hidráulico de impulsión de rastra 284-TK-052

El torque en tanque hidráulico medido sin el sistema y con el sistema propuesto se registraron en las tablas del Anexo 11, estos datos se someten al análisis para determinar los indicadores estadísticos: media, desviación estándar, diferencia de medias. Se consideran 286 muestras de los 384, debido a que 98 muestras iniciales son datos de inicio de secuencia del sistema de control automático, con el empleo del software SPSS se halla los estadísticos para esta variable y se indican en las tablas 4.5 y 4.6.

Tabla 4.5. Estadísticos de muestras independientes de la variable torque.

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Torque_sin_SCA	286	49.4818	1.50617	0.08906
Torque_con_SCA	286	44.8851	1.92296	0.11371

La eficiencia de operación de la rastra está directamente relacionado con la variable torque en tanque hidráulico, por lo que se obtiene el valor de “t” de Student, teniendo como valor de prueba 45 %.

Tabla 4.6. Valor t de Student con las muestras independientes para la variable torque, para un valor de prueba de 45 %.

	Valor de prueba = 45 %					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Torque_sin_SCA	50.323	285	0.000	4.48182	4.3065	4.6571
Torque_con_SCA	-1.010	285	0.313	-0.11490	-0.3387	0.1089

- **Temperatura de aceite en el tanque hidráulico 284-TSH-1113**

La temperatura de aceite en tanque hidráulico medido sin el sistema y con el sistema propuesto se registraron en las tablas del Anexo 11, estos datos se someten al análisis para determinar los indicadores estadísticos: media, desviación estándar, diferencia de medias. Se consideran 286 muestras de los 384, debido a que 98 muestras iniciales son datos de inicio de secuencia del sistema de control automático, con el empleo del software SPSS se halla los estadísticos para esta variable y se indican en las tablas 4.7 y 4.8.

Tabla 4.7. Estadísticos de muestras independientes de la variable temperatura

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Temperatura_de_Aceite_sin_SCA	286	44.0573	1.46654	0.08672
Temperatura_de_Aceite_con_SCA	286	42.5813	1.44893	0.08568

La eficiencia de operación de la rastra está directamente relacionado con la variable temperatura de aceite en tanque hidráulico, por lo que se obtiene el valor de “t” de Student, teniendo como valor de prueba 42.5 °C.

Tabla 4.8. Valor t de Student con las muestras independientes de temperatura de aceite en tanque hidráulico, para un valor de prueba de 42.5 °C.

	Valor de prueba = 42.5 °C					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Temperatura_de_Aceite_sin_SCA	17.958	285	0.000	1.55727	1.3866	1.7280
Temperatura_de_Aceite_con_SCA	0.948	285	0.344	0.08126	-0.087	0.2499

- **Nivel de cama de sólidos espesados**

El nivel de cama de sólidos espesados medido sin el sistema y con el sistema propuesto se registraron en las tablas del Anexo 11, estos datos se someten al análisis para determinar los indicadores estadísticos: media, desviación estándar, diferencia de medias. Se consideran 286 muestras de los 384, debido a que 98 muestras iniciales son datos de inicio de secuencia del sistema de control automático, con el empleo del software SPSS se halla los estadísticos para esta variable y se indican en las tablas 4.9 y 4.10.

Tabla 4.9. Estadísticos de muestras independientes de la variable nivel

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Nivel_solidos_sin_SCA	286	93.2508	4.81337	0.28462
Nivel_solidos_con_SCA	286	94.8847	1.17843	0.06968

La eficiencia de operación de la rastra está relacionado con la variable nivel de cama de sólidos espesados, por lo que se obtiene el valor de “t” de Student, teniendo como valor de prueba 95 cm.

Tabla 4.10. Valor t de Student con las muestras independientes de nivel de cama de sólidos espesados para un valor de prueba de 95 cm.

	Valor de prueba = 95 cm					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Nivel_cama_solidos_sin_SCA	-6.146	285	0.000	-1.74920	-2.3094	-1.1890
Nivel_cama_solidos_con_SCA	-1.655	285	0.099	-0.11531	-0.2525	0.0218

4.2.3. Prueba de hipótesis

- **Hipótesis específica 1.-** El subsistema de control de torque, mantiene el torque en el tanque hidráulico de impulsión de rastra en el rango de 40 % a 50 %, con un torque deseado de 45 %.

Se establecen los hipótesis de trabajo:

Hipótesis nula1 = H_{01}

Hipótesis alterna1 = H_{a1}

H_{01} = El subsistema de control de torque, no mantiene el torque en el tanque hidráulico de impulsión de rastra alrededor de 45 %.

$$\mu \neq 45 \%$$

H_{a1} = El subsistema de control de torque, mantiene el torque en el tanque hidráulico de impulsión de rastra alrededor de 45 %.

$$\mu = 45 \%$$

Regla de decisión: en la prueba "t" a ambas colas si: sig (bilateral) > $\alpha/2$ ($\alpha = 0.05$), entonces se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna.

De acuerdo a la tabla 4.6 para un valor de prueba de 45 % para el Torque_con_SCA la significancia de la prueba "t" a ambas colas es: Sig (bilateral)=0.313 > 0.025, por lo que se acepta la hipótesis alterna H_{a1} .

- **Hipótesis específica 2.-** El subsistema de control de temperatura, mantiene la temperatura del aceite en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, en el rango de 40 °C a 45 °C, con temperatura deseada de 42.5 °C.

Se establecen los hipótesis de trabajo:

Hipótesis nula2 = H_{02}

Hipótesis alterna2 = H_{a2}

H_{02} = El subsistema de control de temperatura, no mantiene la temperatura de aceite en el tanque hidráulico de impulsión de rastra alrededor de 42.5 %.

$$\mu \neq 42.5 \%$$

H_{a2} = El subsistema de control de temperatura, mantiene la temperatura de aceite en el tanque hidráulico de impulsión de rastra alrededor de 42.5 %.

$$\mu = 42.5 \%$$

Regla de decisión: en la prueba "t" a ambas colas si: sig (bilateral) > $\alpha/2$ ($\alpha = 0.05$), entonces se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna.

De acuerdo a la tabla 4.8 para un valor de prueba de 42.5 % para la Temperatura_de_Aceite_con_SCA la significancia de la prueba "t" a ambas colas es: Sig (bilateral)=0.344 > 0.025, por lo que se acepta la hipótesis alterna H_{a2} .

- **Hipótesis específica 3.-** El subsistema de control de nivel, mantiene el nivel de cama de sólidos espesados entre 90 cm y 100 cm, con nivel deseado de 95 cm.

Se establecen los hipótesis de trabajo:

Hipótesis nula3 = H_{03}

Hipótesis alterna3 = H_{a3}

H_{03} = El subsistema de control de nivel, mantiene el nivel de cama de sólidos espesados alrededor de 95 cm.

$$\mu \neq 95 \text{ cm}$$

H_{a3} = El subsistema de control de nivel, no mantiene el nivel de cama de sólidos espesados alrededor de 95 cm

$$\mu = 95 \text{ cm}$$

Regla de decisión: en la prueba "t" a ambas colas si: sig (bilateral) > $\alpha/2$ ($\alpha = 0.05$), entonces se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alterna.

De acuerdo a la tabla 4.10 para un valor de prueba de 95 cm para el Nivel_cama_solidos_con_SCA la significancia de la prueba "t" a ambas colas es: Sig (bilateral)=0.099 > 0.025, por lo que se acepta la hipótesis alterna H_{a3} .

4.2.3.1. Decisión de las pruebas de las hipótesis estadísticas:

Habiéndose aceptado las hipótesis alternas de las tres hipótesis específicas sometidas a prueba, se concluye que: 1. el subsistema de control de torque, mantiene el torque en el tanque hidráulico de impulsión de rastra en el rango de 40 % a 50 %, con un torque deseado de 45 %, 2. El subsistema de control de temperatura, mantiene la temperatura del aceite en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, en el rango de 40 °C a 45 °C, con temperatura deseada de 42.5 °C, y 3. El subsistema de control de nivel, mantiene el nivel de cama de sólidos espesados entre 90 cm y 100 cm, con nivel deseado de 95 cm.

Para determinar la eficiencia de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052, se considera los eventos de apagado del motor hidráulico 284-TM-052-M1, tanto en el proceso sin sistema de control automático como en el proceso con sistema de control automático.

Tabla 4.11. Eventos de apagado de motor hidráulico 284-TM-052-M1.

Eventos de apagado de Motor hidráulico 284-TM-052-M1 (ON=Activado, OFF=Apagado), sin sistema de control implementado	Eventos de apagado de Motor hidráulico 284-TM-052-M1 (ON=Activado, OFF=Apagado), con sistema de control implementado
21	8

Fuente: Tablas de Anexo 11

Reducir el evento de 21 a 8 indica una mejora del 5.41 %, por lo que queda demostrado que el sistema de control automático diseñado e implementado para este fin mejora en más del 5 % la eficiencia de operación de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la Planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.

4.3. DISCUSIÓN

Un sistema de control automático, también llamado sistema de gestión energética tiene como componentes a los controladores: que de acuerdo a su programación permite controlar los procesos en la planta, por medio de interfaces empleando redes y dispositivos de campo. En el estudio desarrollado el sistema de control automático mantiene los parámetros: torque del tanque hidráulico, temperatura de aceite en el tanque hidráulico y el nivel de cama de sólidos espesados, en rangos deseados. Permitiendo de esta manera mejorar la eficiencia de operación de la rastra del espesador clarificador de molibdeno. Por lo que, este sistema tiene la flexibilidad de controlar las variables en los rangos establecidos dando respuestas satisfactorias que se ajustan a valores deseados por cada variable sin requerir de otros insumos. Mientras que estudios como el de Ochoa C. titulado: "Propuesta para automatización del proceso de clarificación por medio de controladores de lazos múltiples" que tiene como objetivo de la clarificación: eliminar la máxima cantidad de impurezas en la etapa más temprana del proceso, introduce otros elementos químicos, tales como la cal y fosfato como agentes solubles.

En el proceso de implementación se ha desarrollado una interface HMI con paneles de operador para el monitoreo y configuración de las variables de acuerdo a los requerimientos, siendo este una de las ventajas de este tipo de control.

CONCLUSIONES

De los resultados de la investigación se concluye en lo siguiente:

- Se implementó el sistema de control de torque, que permite controlar la presión equivalente al torque en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, entre 40 % y 50 %.
- Se implementó el sistema de control de temperatura, logrando controlar la temperatura del aceite en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, en el rango de 40 °C a 45 °C.
- Se implementó el sistema de control de nivel, que permite controlar el nivel de cama de sólidos espesados entre 90 y 100 cm.
- Se ha desarrollado una interface HMI con paneles de operador para el monitoreo y configuración de las variables que permiten mejorar la eficiencia de operación de la rastra del espesador clarificador de molibdeno de acuerdo a los requerimientos.
- Se mejoró la eficiencia de operación, en más del 5 %, de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la Planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.

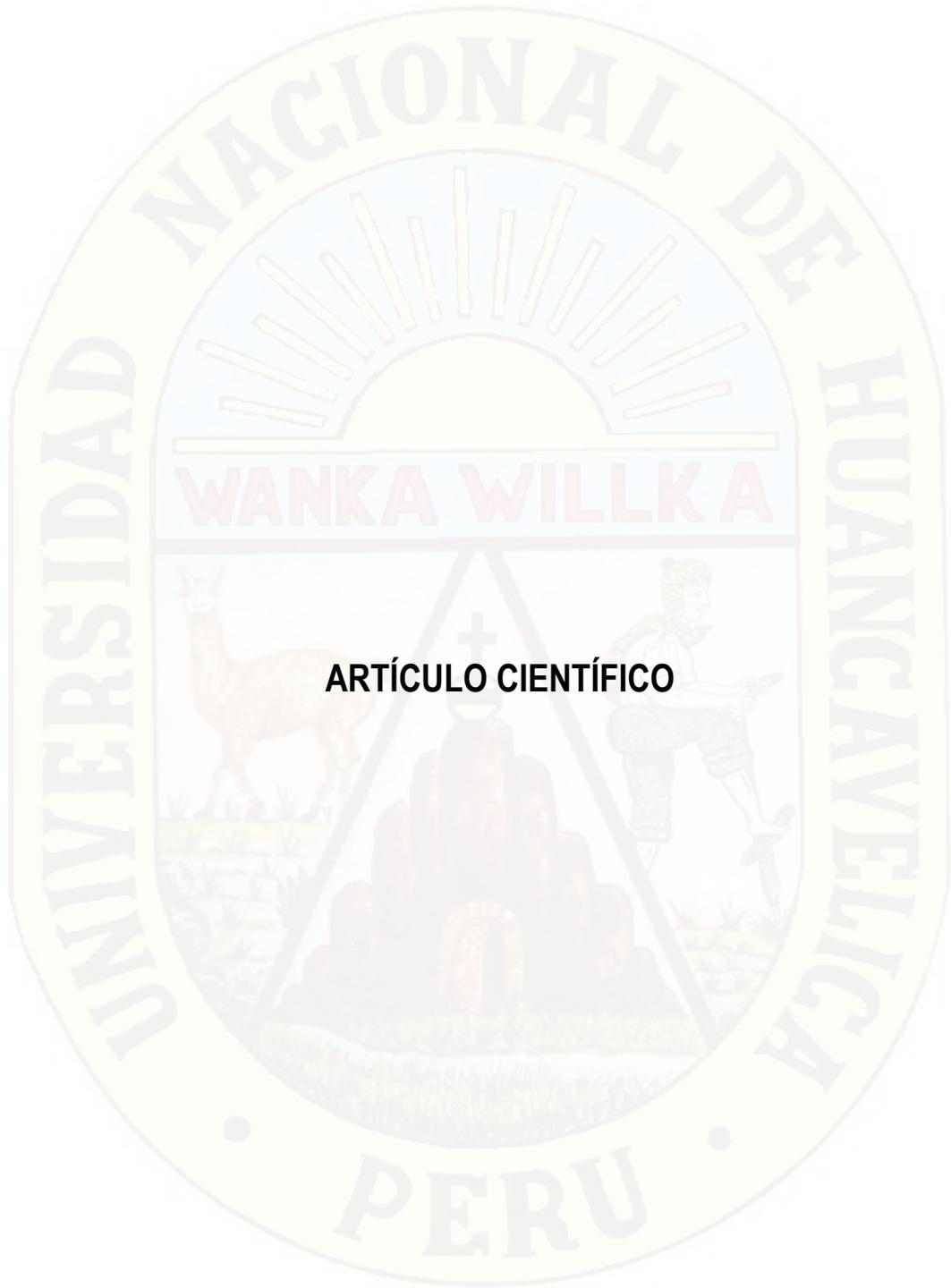
RECOMENDACIONES

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema se debe considerar lo siguiente:

- El sistema de control de torque, temperatura y nivel de cama deben estar conectados a una alarma para indicar que existe fallo en el sistema y detener la operación de la rastra para el mantenimiento respectivo.
- El sistema de control automático desarrollado e implementado trabaja bajo el bus de campo MODBUS por lo que se debe tener en cuenta este parámetro al momento de realizar el ensamble del sistema.
- Con el sistema implementado el proceso funciona de manera automática y para realizar la fijación de parámetros (setpoint) se debe trabajar en modo manual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Álvarez A. Procedimiento para el diseño de una planta de tratamiento de efluentes industriales. Editorial Prentice Hall; 2010.
- [2]. Creus A. Instrumentación Industrial. Séptima edición. España: Editorial Marcombo; 2005
- [3]. Smith C, Corripio A. Control Automático de Procesos. Primera edición. México. Editorial Limusa; 1991
- [4]. Danus H. Crónicas Mineras de Medio Siglo. Primera edición. Chile. Editorial RIL; 2007.
- [5]. Ogata K. Ingeniería de Control Moderna. Tercera edición. México: Editorial Prentice Hall; 1998.
- [6]. Sette R. Tratamiento de Aguas Residuales. España: Editorial Reverte; 1996
- [7]. Programación de PLC Allen Bradley. [En línea] 2010 [Citado 2014 Oct. 15] Disponible en <http://ab.rockwellautomation.com/>.
- [8]. Nasar S. Maquinas Eléctricas y Electromecánicas. Primera edición. México. Editorial Mc Graw Hill; 2000.
- [9]. American National Standard. Normas ANSI/ISA. Instrumentation. 2001.
- [10]. American National Standard. Symbols and Identificación. [En línea] 2006 [Citado 2014 Oct. 15] Disponible en: <http://aeiq-ucm.wdfiles.com/local--files/documentacion/Normas%20ANSI>
- [11]. ERAL. Clarificadores y Espesadores. [En línea] 2008 [Citado 2014 Oct. 15]; Disponible en: http://www.minas.upm.es/catedra-anefa/Bouso-M3/CLAR_ESP.PDF
- [12]. Lara F. Procesos de Cianuración. [En línea] 2014 [Citado 2014 Oct. 8]; Disponible en <http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/5010/1/BVC10004359.pdf>
- [13]. Jiménez R. Metodología de la investigación elementos básicos para la investigación clínica. Ciencias Médicas del Centro Nacional de información de Ciencias Médicas; Habana; 1988.
- [14]. Tamayo M. El proceso de la investigación científica, Cuarta ed., México: Limusa, 2003.



ARTÍCULO CIENTÍFICO

SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE LA RASTRA DE ESPESADOR CLARIFICADOR DE MOLIBDENO, EN LA PLANTA HIDROMETALÚRGICA DEL PROYECTO TOROMOCHO - MINERA CHINALCO PERÚ S.A.

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM TO IMPROVE EFFICIENCY OF OPERATION DREDGE THICKENER CLARIFIER MOLYBDENUM IN HYDROMETALLURGY PLANT PROJECT OF TOROMOCHO - PERU MINERA CHINALCO S.A.

Glicerio García Rivera, Wilfredo García Rivera
Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas,
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

RESUMEN

El estudio realizado corresponde a una investigación de carácter experimental teniendo como problema que originó la investigación la mejora de la eficiencia de operación de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno que en consecuencia se obtiene la mejora de la producción en la Planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A., para solucionar el problema se planteó el siguiente objetivo: Diseñar e implementar un sistema de control automático para mejorar la eficiencia de operación de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la Planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A. La hipótesis planteada como solución al problema fue: El sistema de control automático mejora en más del 5 % la eficiencia de operación de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la Planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A. El tipo de investigación a la que pertenece esta investigación es aplicado, con un nivel explicativo, el método de investigación utilizado fue el experimental. Como resultado se tuvo el diseño e implementación del sistema de control de temperatura, logrando controlar la temperatura del aceite en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, en el rango de 40 °C a 45 °C, también se diseñó e implementó el sistema de control de nivel, que permite controlar el nivel de cama de sólidos espesados entre 90 y 100 cm, finalmente se diseñó e implementó el sistema de control de torque, que permite controlar la presión equivalente al torque en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, entre 40 a 45 %. El sistema implementado permitió evidenciar que el sistema de control automático mejoró la eficiencia de operación, en más del 5 %, de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la Planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.

Palabras claves: Control automático, eficiencia rastra, molibdeno.

ABSTRACT

The study corresponds to an experimental research having as a problem resulting research improving operating efficiency Dredge in the clarifier thickener 284-TK-052 molybdenum consequently improving the production is obtained in the hydrometallurgical plant Toromocho Project - Minera Chinalco Peru SA, to solve the problem the next target was raised: Design and implement an automatic control system to improve operating efficiency dredge in the clarifier thickener 284-TK-052 molybdenum hydrometallurgical plant

Toromocho Project - Minera Chinalco Peru SA The hypothesis as a solution to the problem was: The automatic control system improved by more than 5% operating efficiency Dredge in the clarifier thickener 284-TK-052 of molybdenum in the hydrometallurgical plant Toromocho Project - Minera Chinalco Peru S.A. The type of research to which this research belongs is applied with an explanatory level, the research method used was experimental. As a result the design and implementation of control system temperature had, managing to keep the oil temperature in the hydraulic tank drives Dredge in the range of 40 ° C to 45 ° C, also it designed and implemented the system level control, allowing maintain the level bed of solid thickened between 90 and 100 cm, finally designed and implemented the system torque control, which keeps the pressure equivalent to the torque in the hydraulic tank drives dredge , between 40 and 50 %. The implemented system allowed evidence that the automatic control system operating efficiency improved by more than 5%, Dredge in the clarifier thickener 284-TK-052 of molybdenum in the hydrometallurgical plant Toromocho Project - Minera Chinalco Peru S.A.

Key words: Automatic control , dredge efficiency, molybdenum..

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de la investigación, se ha llegado a demostrar que con la implementación de control de torque controlado por controladores lógicos programables de la marca Allen Bradley CPU micrologix 1100, y la implementación del sistema SCADA nos permite mejorar la producción de separación de sólido y líquido así mismo se demostró la identificación de fallas, programación en línea, indicación de fallas en tiempo real, permite la recuperación de tiempo muerto del proceso con la implementación del sistema de control para la Planta de molibdeno en la empresa Minera Chinalco Perú, ubicada en el departamento de Junín, así mismo para la mejor comprensión del informe se describen todos los subsistemas involucrados en el proceso, así como también las variables operacionales que manejan dichos subsistemas. Luego se procedió a definir la filosofía de operación que permitió mejorar el control, al sistema antiguo con que la planta operará de manera eficiente.

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

MATERIAL Y MÉTODOS

En el desarrollo del trabajo se ha utilizado diversos materiales entre los más resaltantes tenemos: la estructura el controlador lógico programable, el software Factory TalkView y la instrumentación respectiva que permiten detectar las señales analógicas y enviar por medio de transmisores a la estación de control. El método empleado es el aplicado.

RESULTADOS

Para mejorar el control de la rastra en el espesador clarificador TK-054 del área hidrometalúrgica del proyecto Toromocho y lograr los objetivos propuestos, en el trabajo de investigación se diseñó e implementó la arquitectura de un sistema de control automático con autómatas programables e instrumentos inteligentes.

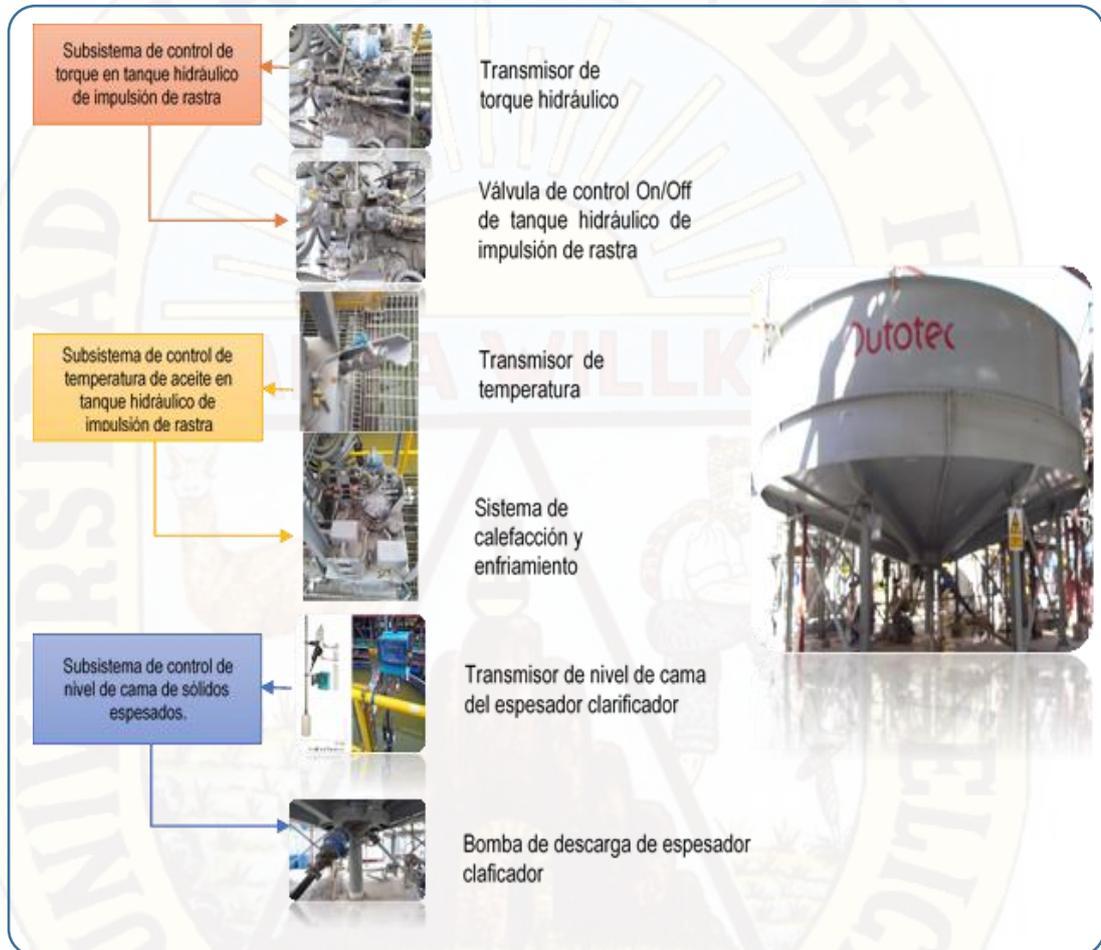


Figura 1. Diagrama general del sistema de control automático para la operación de la rastra del espesador clarificador de molibdeno.

El sistema SCADA se diseñó e implementó para la plataforma FactoryTalk View ME. La visualización de datos se realizó en una pantalla táctil PanelView Plus 1400 en la cual se creó 13 pantallas donde son adquiridos los variables de proceso del espesador, del proyecto Toromocho en la planta hidrometalúrgica que son controlados y supervisados desde una estación de operación con interface gráfica SCADA.

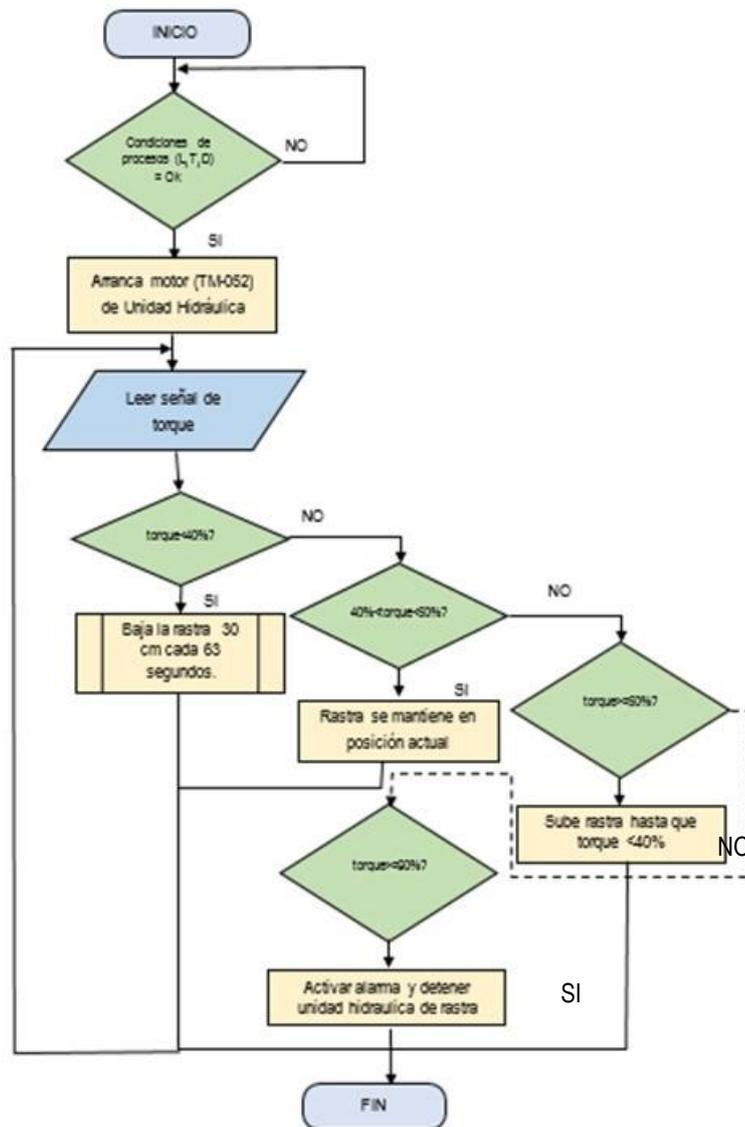


Figura 2. Diagrama de flujo del subsistema de control de torque en tanque hidráulico de impulsión de rastra.

El termómetro ubicado en el tanque hidráulico envía la señal eléctrica equivalente a la temperatura en el rango de 4 a 20 mA, cuando la temperatura de aceite se encuentre entre 40 °C y 45 °C la rastra opera con normalidad. Para el arranque del motor hidráulico la temperatura del aceite debe ser mayor o igual a 18 °C; si es menor se activa el sistema de calefacción y cuando superé los 45 °C se activa el mecanismo de enfriamiento de aceite.

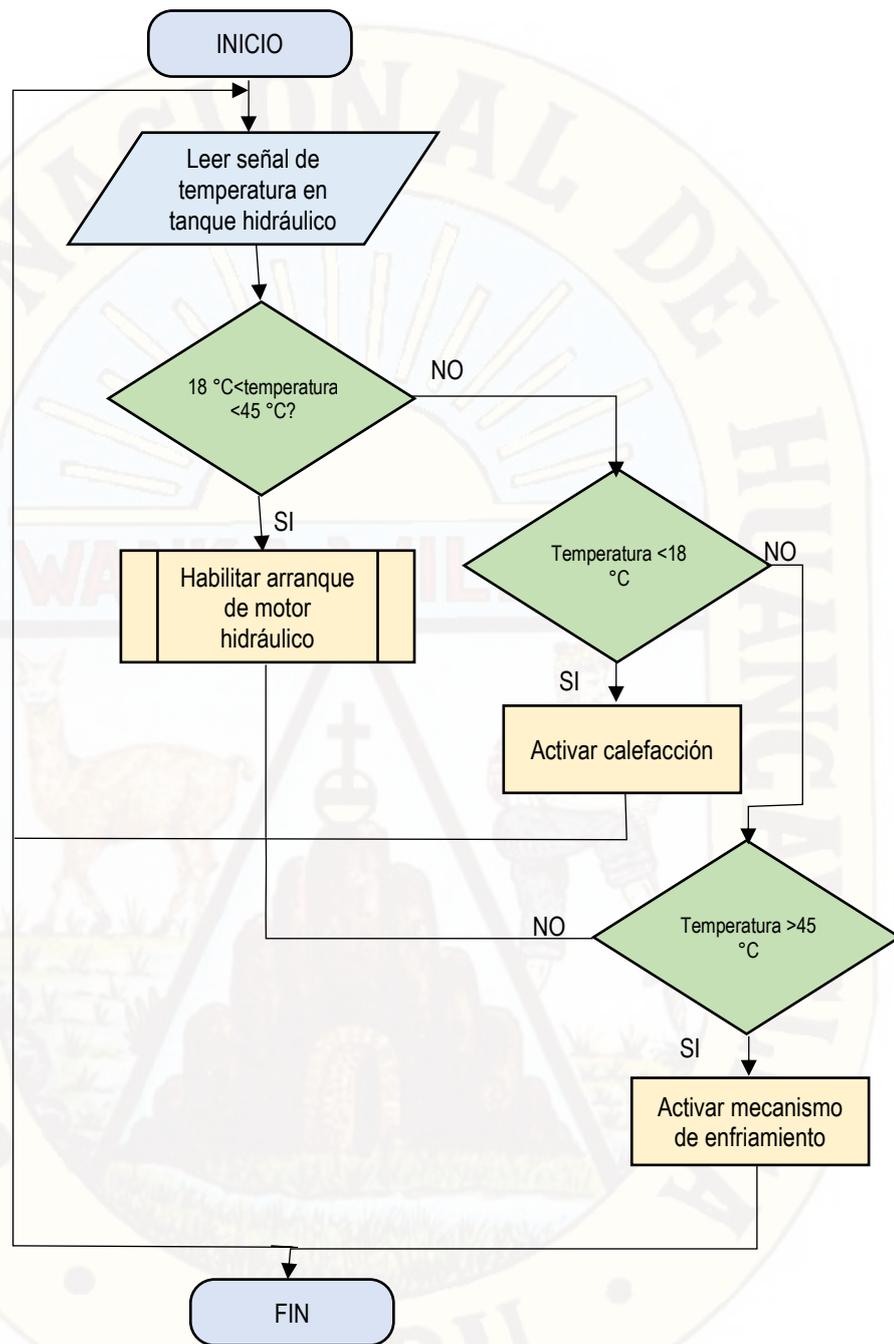


Figura 3. Diagrama de flujo del subsistema de control de temperatura de aceite en tanque hidráulico.

El subsistema de control de nivel de cama de sólidos espesados recibe la señal proveniente del detector de nivel de cama. Este subsistema permite al material sólido de relave de molibdeno acumularse hasta un nivel máximo de 100 cm. Si alcanza o supera el nivel de 100 cm, se activa una señal de alarma indicando que el material debe ser expulsado.

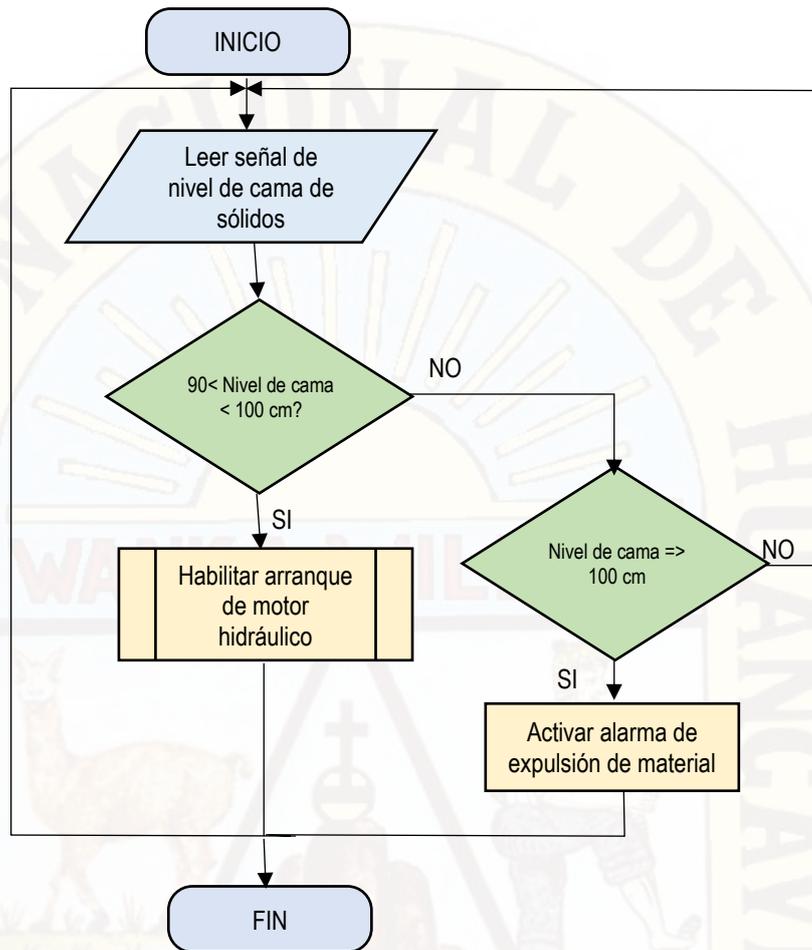


Figura 4. Diagrama de flujo del subsistema de control de nivel de cama de sólidos espesados.

La pantalla de la interface HMI es la que se presenta en la Figura 5, esta pantalla se muestra cuando se inicia la ejecución de la aplicación en el PanelView 400.

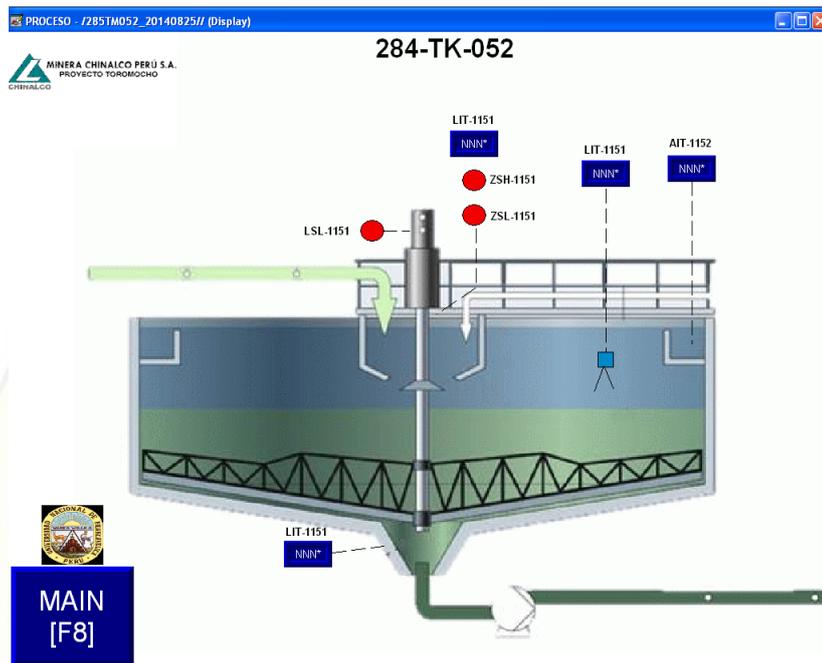


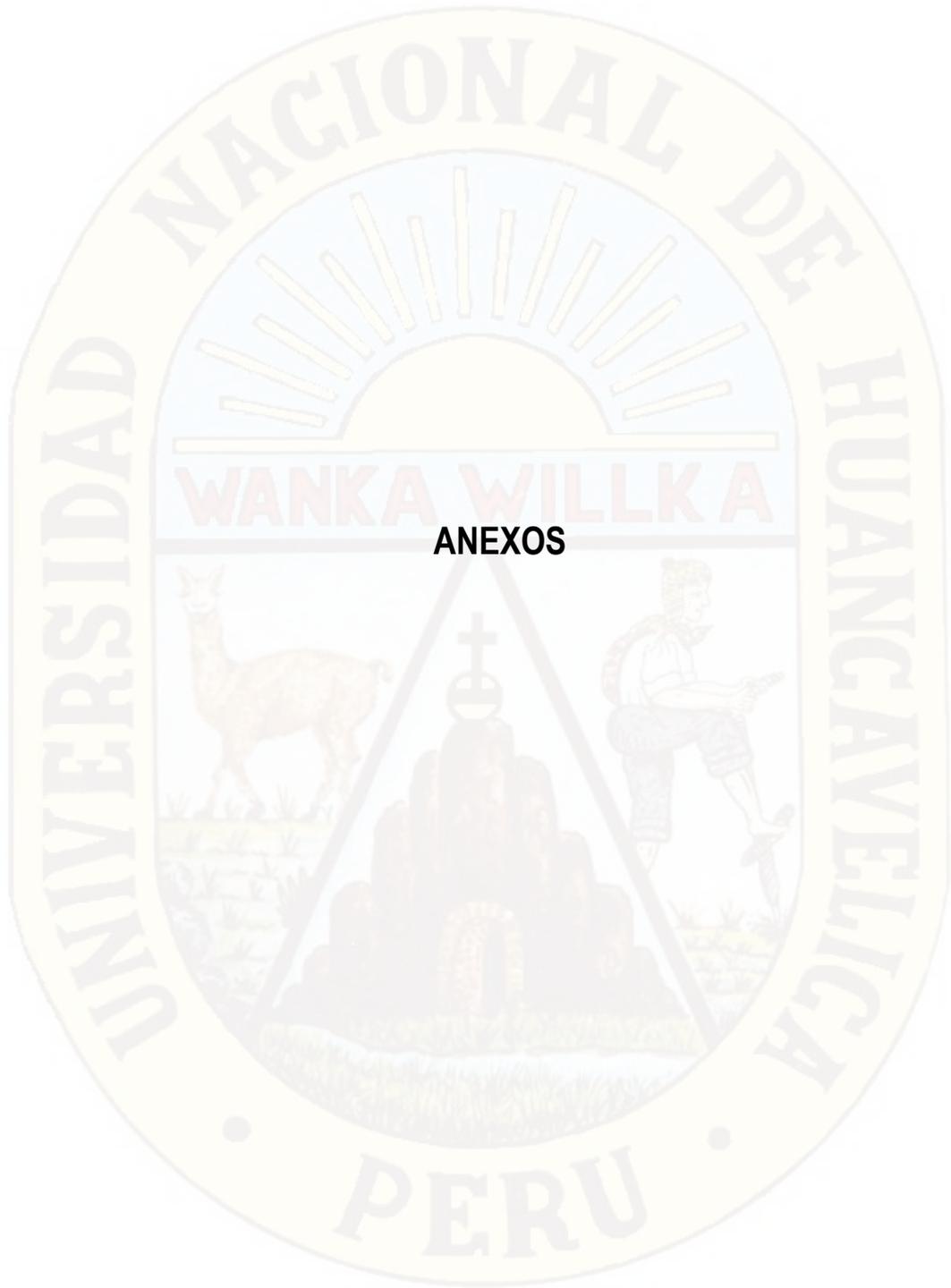
Figura 5. Pantalla principal del sistema de control automático

CONCLUSIÓN

Se diseñó e implementó el sistema de control de temperatura, logrando controlar la temperatura del aceite en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, en el rango de 40 °C a 45 °C. también se diseñó e implementó el sistema de control de nivel, que permite controlar el nivel de cama de sólidos espesados entre 90 y 100 cm., se diseñó e implementó el sistema de control de torque, que permite controlar la presión equivalente al torque en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, entre 40 a 50 %, finalmente se diseñó e implementó un sistema de control automático que permitió mejorar la eficiencia de operación, en más del 5 %, de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la Planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Álvarez A. Procedimiento para el diseño de una planta de tratamiento de efluentes industriales. Editorial Prentice Hall; 2010.
- [2]. Creus A. Instrumentación Industrial. Séptima edición. España: Editorial Marcombo; 2005
- [3]. Smith C, Corripio A. Control Automático de Procesos. Primera edición. México. Editorial Limusa; 1991
- [4]. Danus H. Crónicas Mineras de Medio Siglo. Primera edición. Chile. Editorial RIL; 2007.
- [5]. Ogata K. Ingeniería de Control Moderna. Tercera edición. México: Editorial Prentice Hall; 1998.
- [6]. Sette R. Tratamiento de Aguas Residuales. España: Editorial Reverte; 1996
- [7]. Programación de PLC Allen Bradley. [En línea] 2010 [Citado 2014 Oct. 15] Disponible en <http://ab.rockwellautomation.com/>.



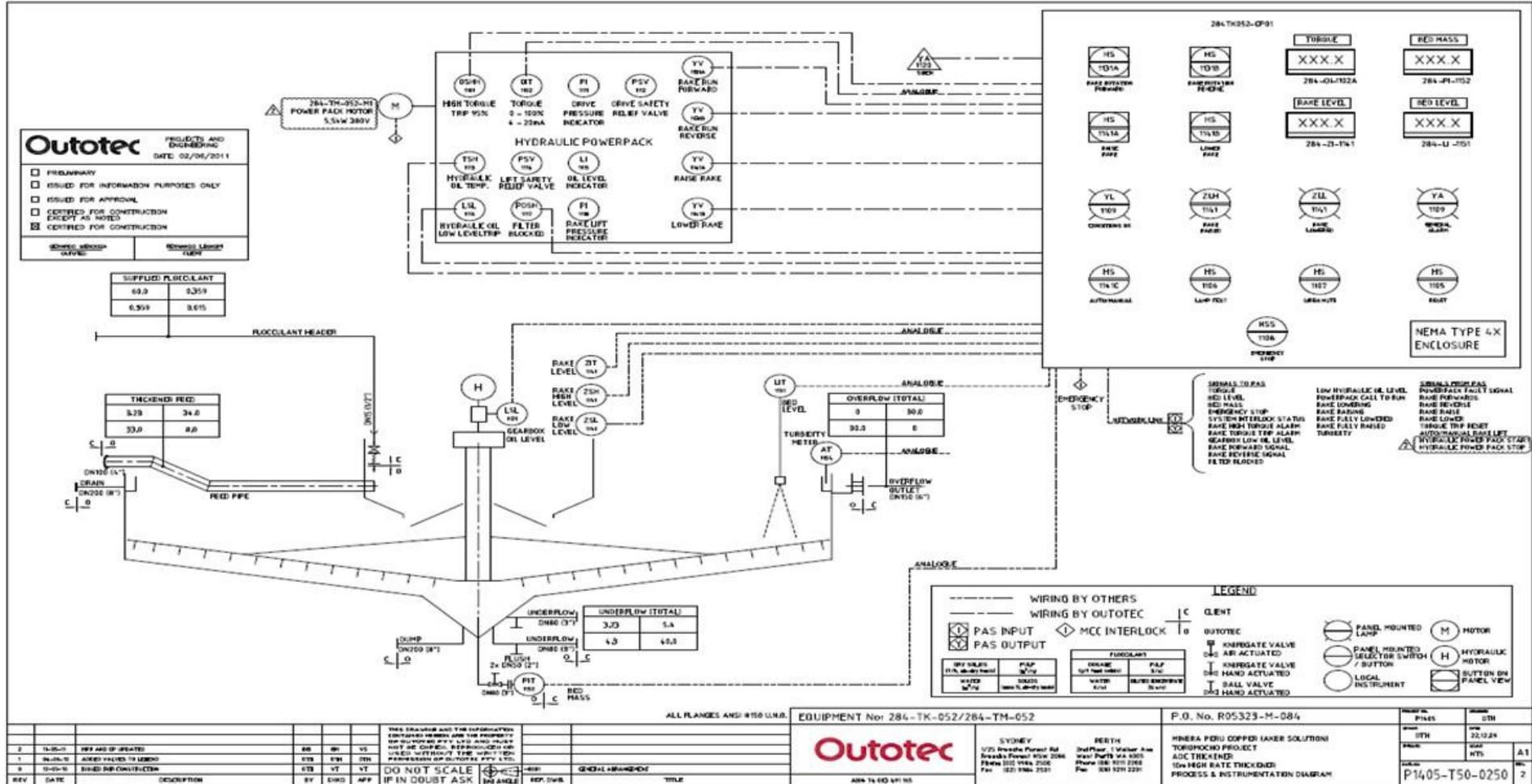
ANEXOS

ANEXO 1.- Matriz de consistencia

TITULO: SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE OPERACIÓN DE LA RASTRA DE ESPESADOR CLARIFICADOR DE MOLIBDENO, EN LA PLANTA HIDROMETALÚRGICA DEL PROYECTO TOROMOCHO - MINERA CHINALCO PERÚ S.A.			
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES
<p>Problema general:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ ¿Cómo mejorar la eficiencia de operación de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la Planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A.? <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ ¿Cómo mantener el torque en el tanque hidráulico de impulsión de rastra en el rango de 40 % a 50 %, con torque deseado de 45 %? ➤ ¿Cómo mantener la temperatura de aceite en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, en el intervalo de 40 °C a 45 °C, con temperatura deseada de 42.5 °C? ➤ ¿Cómo mantener el nivel de cama de sólidos espesados en el rango de 90 a 100 cm, con nivel deseado de 95 cm? 	<p>Objetivo general:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Diseñar e implementar un sistema de control automático para mejorar la eficiencia de operación de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la Planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A. <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Diseñar e implementar el subsistema de control de torque, para mantener el torque en el tanque hidráulico de impulsión de rastra en el rango de 40 % a 50 %, con torque deseado de 45 %. ➤ Diseñar e implementar el subsistema de control de temperatura, para mantener la temperatura de aceite en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, en el intervalo de 40 °C a 45 °C, con temperatura deseada de 42.5 °C. ➤ Diseñar e implementar el subsistema de control de nivel, para mantener el nivel de cama de sólidos espesados entre 90 y 100 cm, con nivel deseado de 95 cm. 	<p>Hipótesis general:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ El sistema de control automático mejora en más de 5 % la eficiencia de operación de la rastra en el espesador clarificador 284-TK-052 de molibdeno en la Planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A. <p>Hipótesis específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ El subsistema de control de torque, mantiene el torque en el tanque hidráulico de impulsión de rastra en el rango de 40 % a 50 %, con un torque deseado de 45 %. ➤ El subsistema de control de temperatura, mantiene la temperatura del aceite en el tanque hidráulico que impulsa a la rastra, en el rango de 40 °C a 45 °C, con temperatura deseada de 42.5 °C. ➤ El subsistema de control de nivel, mantiene el nivel de cama de sólidos espesados entre 90 cm y 100 cm, con nivel deseado de 95 cm. 	<p>Variable independiente</p> <p>Sistema de control automático (SCA)</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Subsistema de control de presión ➤ Subsistema de control de temperatura ➤ Subsistema de control de nivel <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Presión equivalente al torque en el tanque hidráulico (%) ➤ Temperatura del aceite en el tanque hidráulico (°C) ➤ Nivel de cama de sólidos espesados (m) <p>Variable dependiente</p> <p>Sistema de control automático (SCA)</p> <p>Dimensión: Índice de eficiencia</p> <p>Indicador: Porcentaje (%)</p>

POBLACIÓN Y MUESTRA	DISEÑO	MÉTODOS Y TÉCNICAS	PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS
<p>Población</p> <p>Se tuvo una población prácticamente infinita de posibles lecturas para los indicadores de torque del tanque hidráulico, temperatura del tanque hidráulico y nivel de cama de sólidos espesados. Para efectos de cálculo se consideró un población de 100,000 lecturas.</p> <p>Muestra</p> <p>Por tratarse de una población prácticamente infinita se emplean las 1 y 2, para calcular la muestra.</p> $(Ec. 1) n_0 = \frac{Z^2 P Q}{E^2}$ $(Ec. 2) n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$ <p>Donde: Z=1.96, N= 100,000 P= 0.50, Q= 0.50 E= 0.05 n ≅ 384 muestras. Por lo que se tomarán 384 muestras por cada indicador.</p>	<p>En esta investigación se hizo uso del diseño experimental mediante series de tiempo, ya que se trabajó con un solo grupo experimental, con mediciones periódicas antes y después sobre la variable dependiente. El diseño de la investigación queda representada con el siguiente esquema:</p> <p>M: O₁ O₂ O₃ X O₄ O₅ O₆</p> <p>Donde: M: muestras O1, O2, O3: son las observaciones de las muestras de las variables pre-test. X: Variable experimental. O4, O5, O6: son las observaciones de las variables post – test.</p>	<p>Método</p> <p>En esta investigación se empleó el método científico y como método particular el experimental que utilizó como procesos lógicos la inducción y la deducción, que permitirán evidenciar la mejora de la eficiencia de operación de la rastra de espesador clarificador de molibdeno.</p> <p>Técnica</p> <p>Se empleó la técnica de la observación y toma de datos directos por el instrumental de medición.</p> <p>Análisis de los datos</p> <p>Para el análisis de los datos del trabajo de investigación, se aplicó la técnica de procesamiento apareado y se realizó el análisis estadístico de significancia de la mejora usando la prueba T para un nivel de confianza de 95%.</p>	<p>Instrumentos</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Instrumentación de la Compañía minera ➤ Personal de la Compañía Minera ➤ Protocolos de almacenamiento de datos <p>Recolección de datos</p> <p>Los datos se recogieron a propósito de la investigación por cada indicador (torque en el tanque hidráulico, temperatura en el tanque hidráulico y nivel de cama de sólidos espesados), en un número de 384 muestras. Estas se tomaron cada 10 minutos en 07 días, considerando tomas de datos durante 10 horas por cada día y se almacenarán para su posterior procesamiento.</p>

ANEXO 2.- Planos de P&ID del espesador clarificador de molibdeno



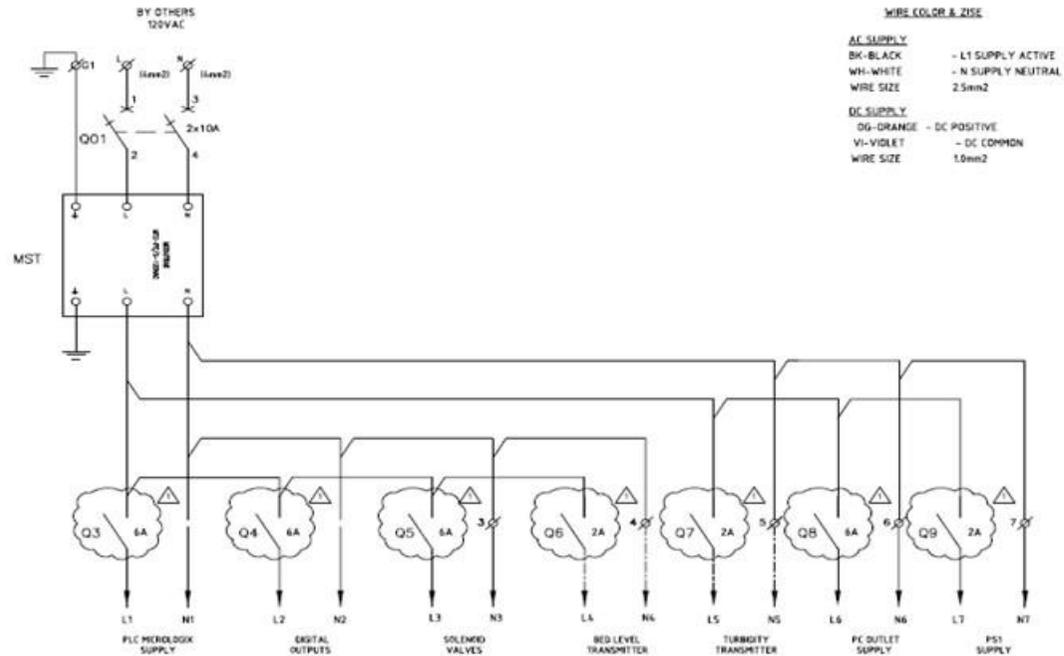
ANEXO 3.- Esquema eléctrico del sistema hidráulico del panel de control

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Outotec PROJECTS AND ENGINEERING
DATE: 26/03/2011

PRELIMINARY
 ISSUED FOR INFORMATION PURPOSES ONLY
 ISSUED FOR APPROVAL
 CERTIFIED FOR CONSTRUCTION EXCEPT AS NOTED
 CERTIFIED FOR CONSTRUCTION

DESIGN METHOD	TERMINAL GROUP



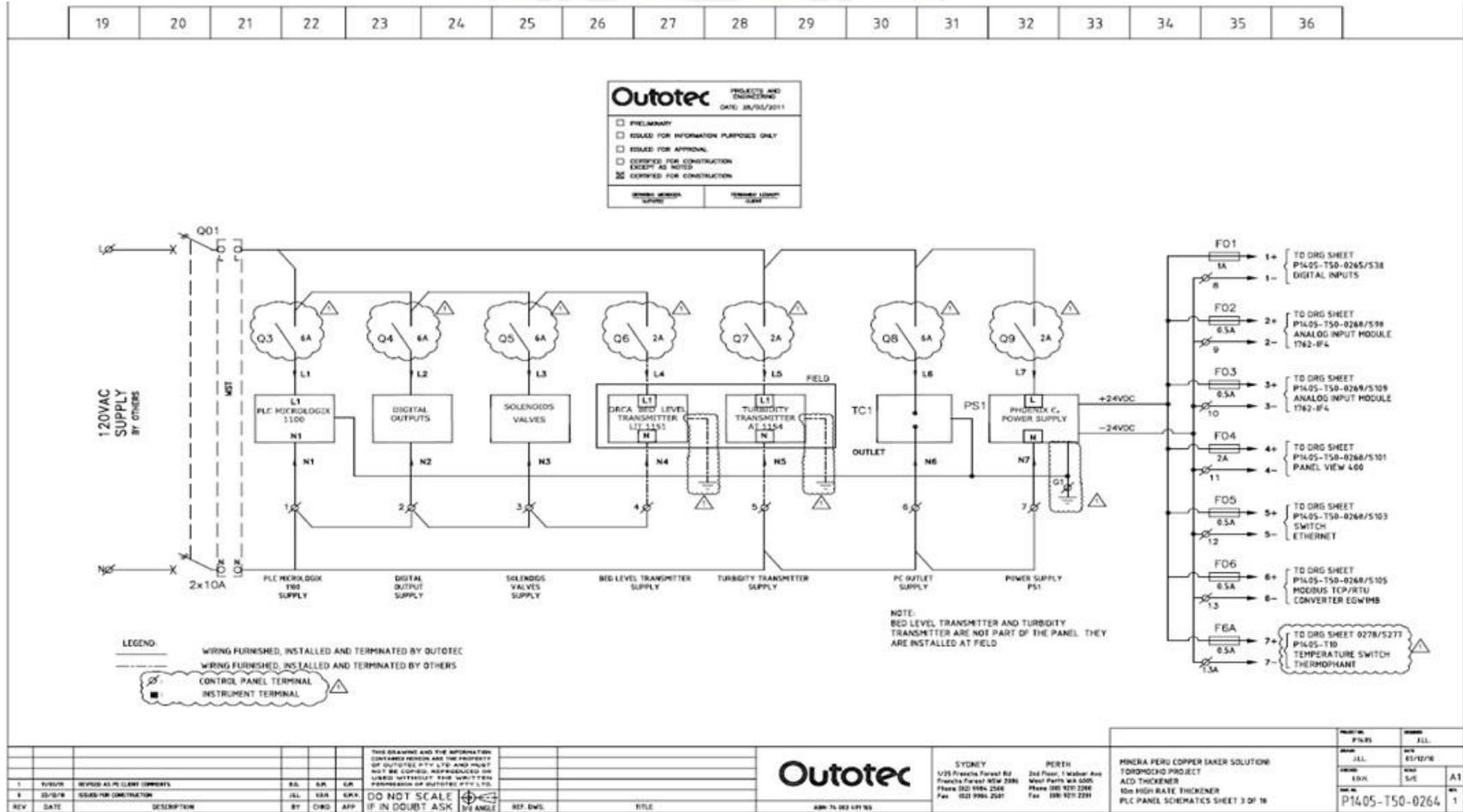
LEGEND:

WIRING FURNISHED, INSTALLED AND TERMINATED BY OUTOTEC
 WIRING FURNISHED, INSTALLED AND TERMINATED BY OTHERS
 CONTROL PANEL TERMINAL
 INSTRUMENT TERMINAL

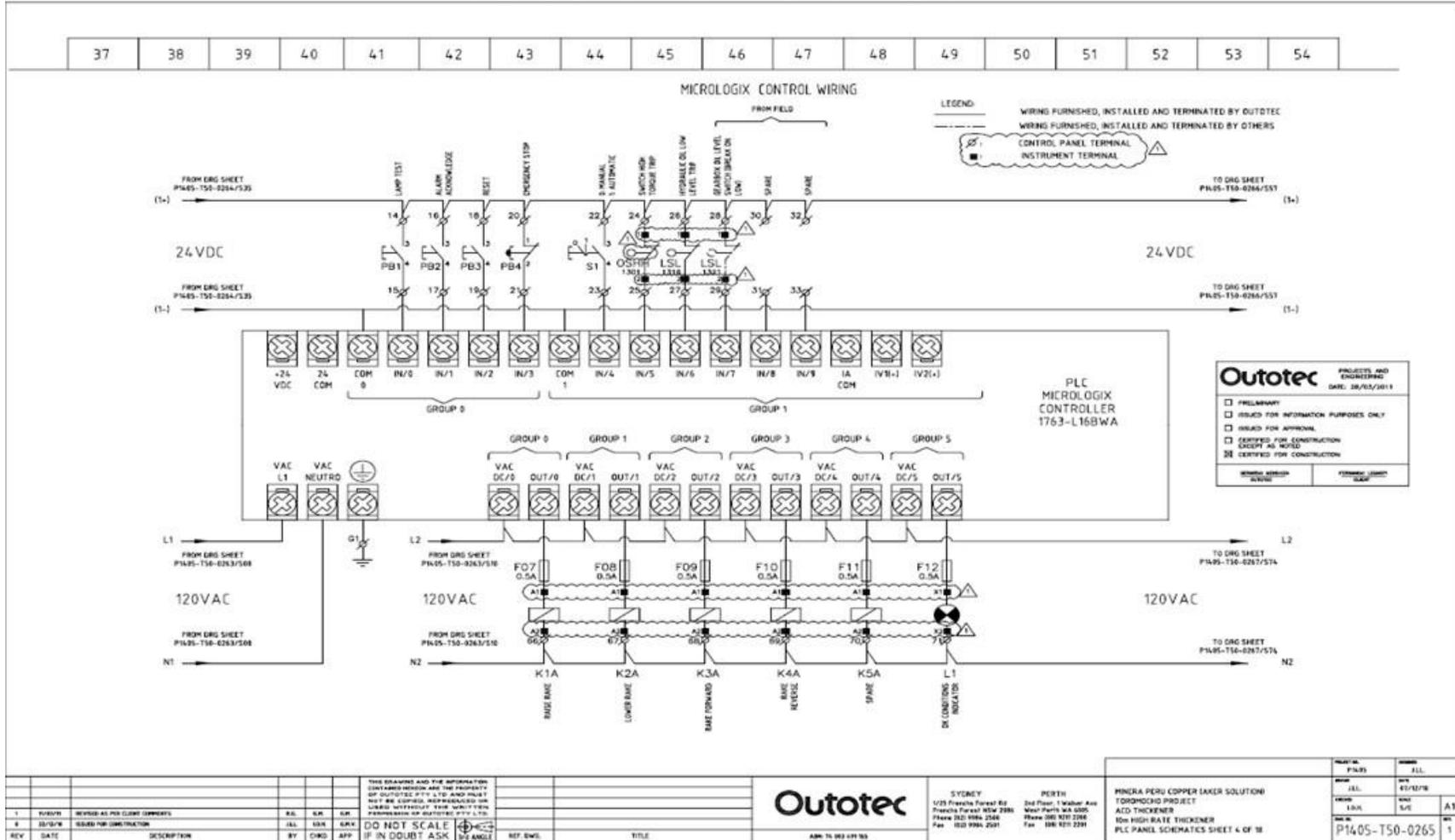
NOTE:
MCC SIGNALS BY COMMUNICATION LINK

				THIS DRAWING AND THE INFORMATION CONTAINED HEREON ARE THE PROPERTY OF OUTOTEC PVT. LTD. AND MUST NOT BE COPIED, REPRODUCED OR LOANED WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF OUTOTEC PVT. LTD.				<p>Outotec</p> <p>SYDNEY 1/25 Francis Forest Rd Frenchs Forest NSW 2086 Phone 61 2 996 2166 Fax 61 2 996 2591</p> <p>PERTH 2nd Floor, 1 Walker Ave West Perth WA 6005 Phone 61 8 921 2266 Fax 61 8 921 2291</p> <p>MINERA PERU COPPER TANKER SOLUTION TOROMOCHO PROJECT ACD THICKENER 10m HIGH RATE THICKENER PLC PANEL SCHEMATICS SHEET 2 OF 36</p>									
DO NOT SCALE IF IN DOUBT ASK				<p>DATE: 26/03/2011</p> <p>BY: JLL</p> <p>CHKD: EBA</p> <p>APP: GPK</p>													
REV	DATE	DESCRIPTION	BY	CHKD	APP	REF. DWG.	TITLE	SCALE	NO. OF SHEETS	TOTAL SHEETS	DATE	BY	CHKD	APP	REV	DATE	DESCRIPTION
1	26/03/11	ISSUED AS PER CLIENT COMMENTS	JLL	EBA	GPK												
2	26/03/11	ISSUED FOR CONSTRUCTION	JLL	EBA	GPK												

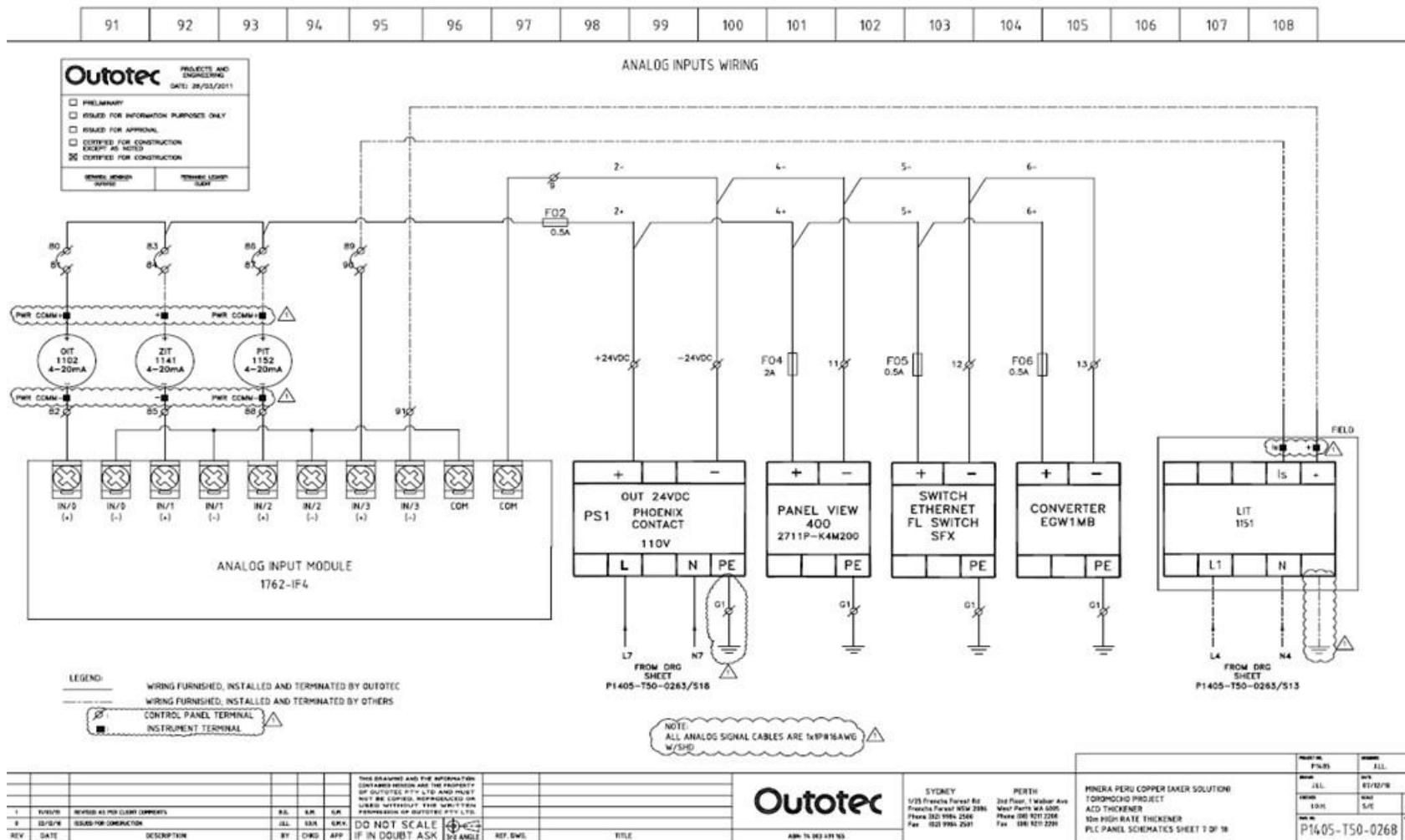
Continuación



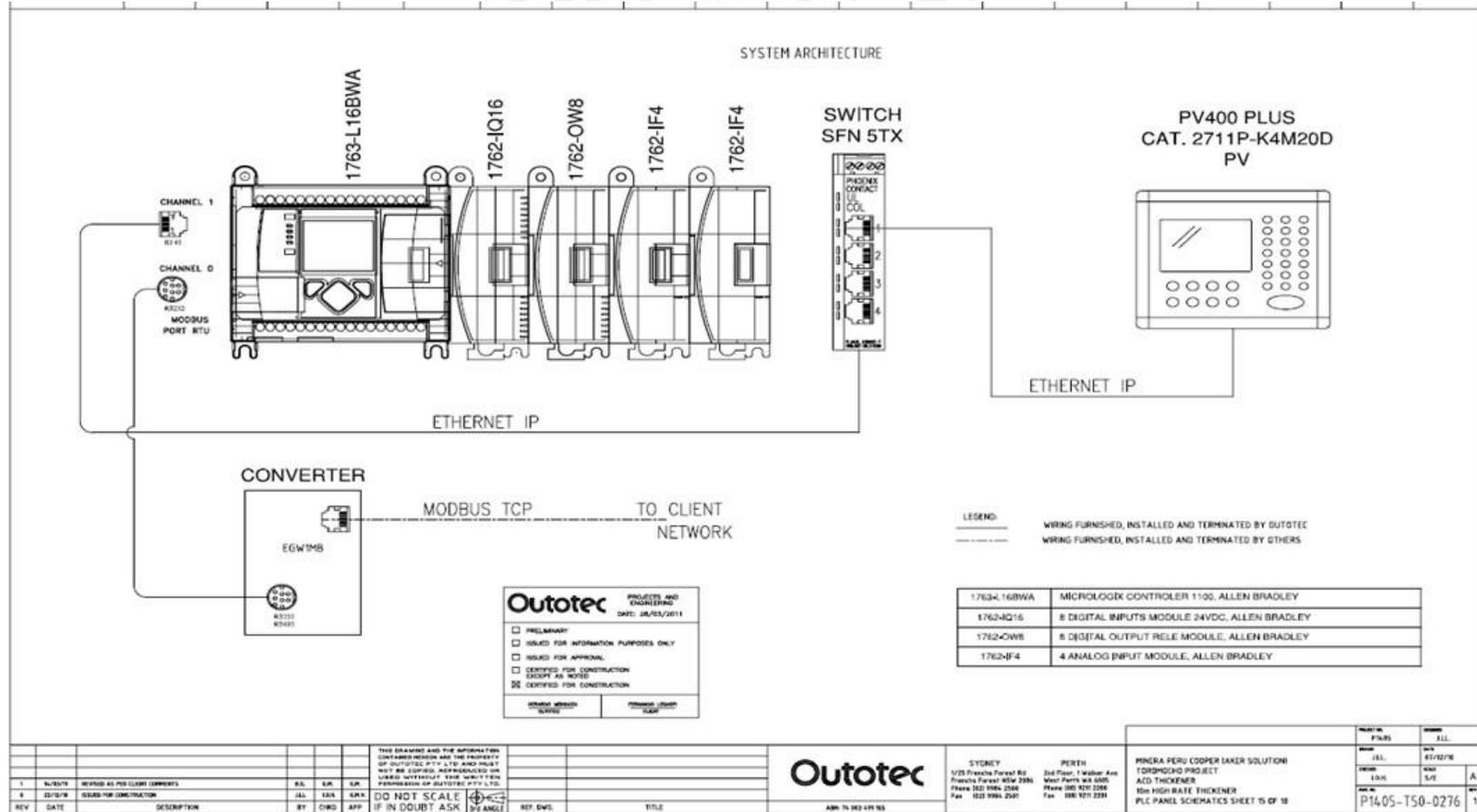
ANEXO 4.- Diagrama de conexiones al PLC Micrologix



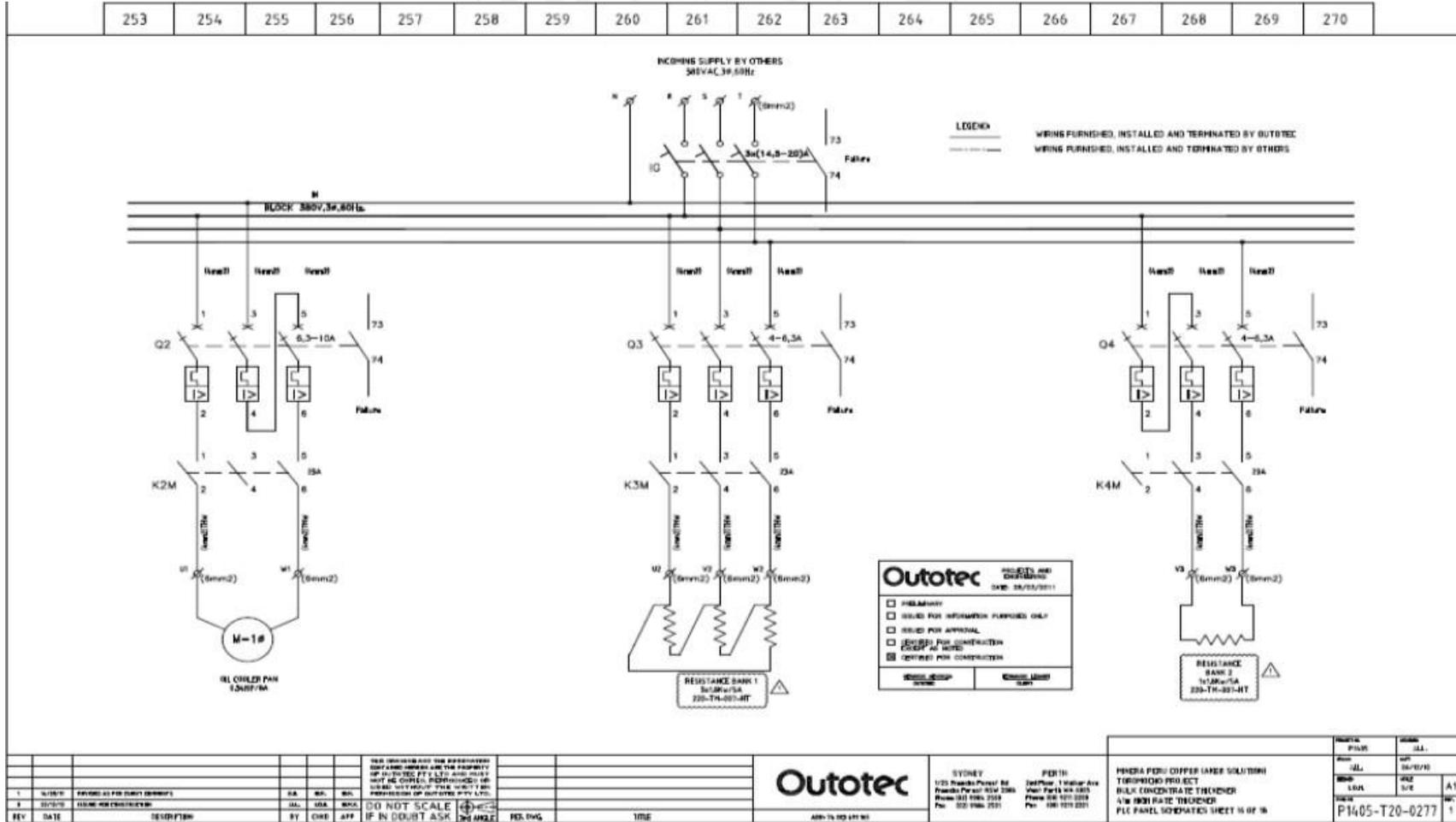
ANEXO 5.- Esquema eléctrico del módulo de entrada analógica



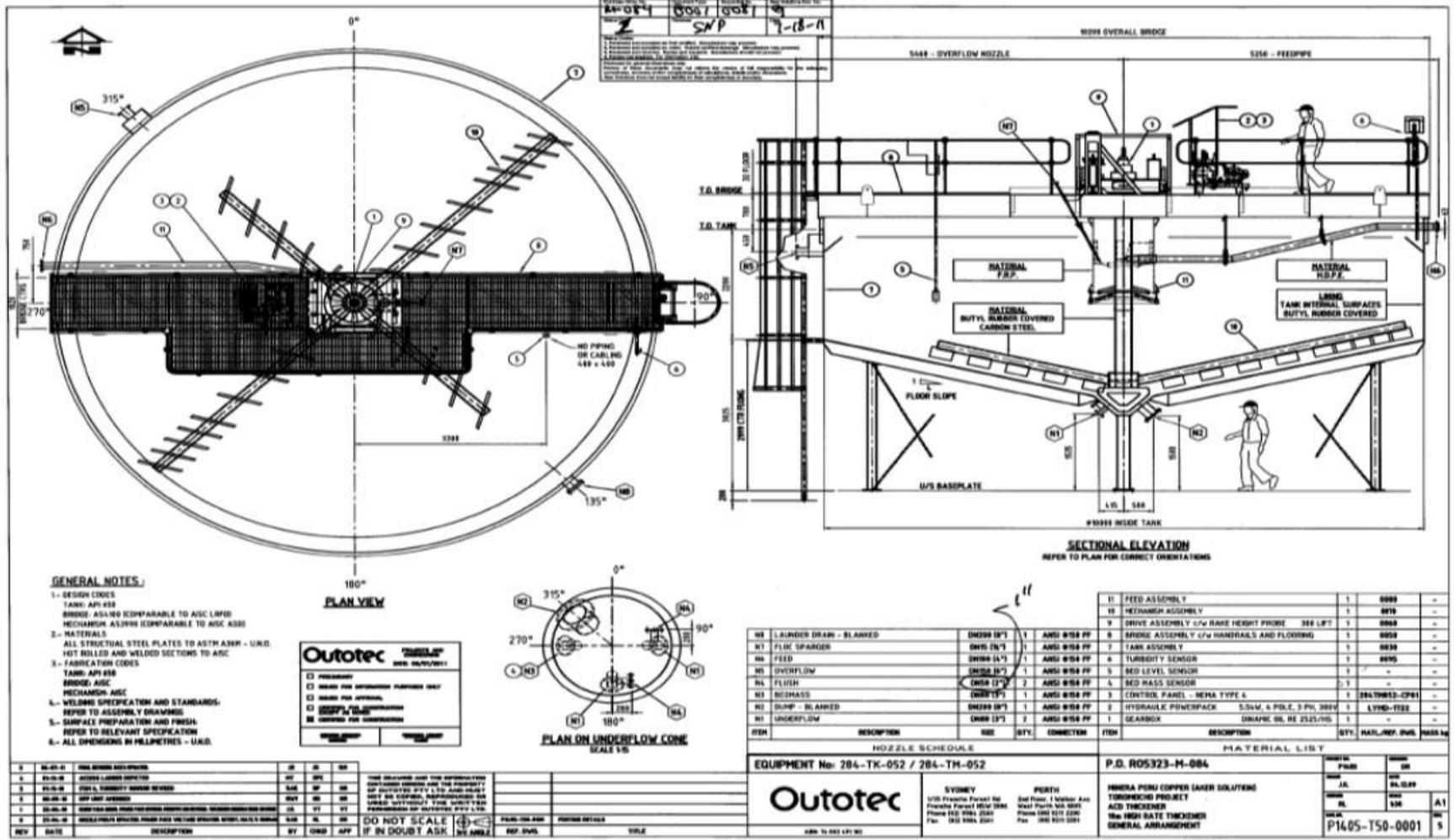
ANEXO 6.- Diagrama de conexiones del panel de control



ANEXO 7.- Esquema de conexión de resistencias calefactora del unidad hidráulica



ANEXO 8.- Diagrama de mecanismo de la rastra hidráulica



ANEXO 9.- Prototipo adquirente de señales para control



ANEXO 10.- Tablas de datos

Tabla 11.1. Datos adquiridos sin el sistema de control implementado.

Nº Muestra	Temperatura de aceite en el tanque hidráulico 284-TSH-1113 (0 a 100 °C)	Calefactor con resistencia eléctrica (ON=Activado, OFF=Desactivado)	Ventilador (ON=Activado, OFF=Desactivado)	Alarma de alta Temperatura de aceite en el tanque hidráulico (>=50 °C)	Nivel de cama de sólidos espesados 284-LIT-0003 (0 - 100 cm)	Estado alarma general (ON=Activado, OFF=Desactivado)	Torque del motor hidráulico 284-OIT-1102 (%)
01	0,00	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
02	1,73	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
03	2,91	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
04	3,35	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
05	3,75	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
06	3,38	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
07	4,08	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
08	4,39	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
09	5,69	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
10	5,90	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
11	5,79	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
12	7,00	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
13	7,78	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
14	7,63	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
15	8,23	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
16	9,40	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
17	9,39	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
18	10,03	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
19	9,84	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
20	10,50	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
21	11,69	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
22	11,66	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
23	12,14	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
24	13,22	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
25	13,31	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
26	13,99	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
27	14,77	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
28	15,25	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
29	15,03	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
30	16,11	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
31	15,94	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
32	17,25	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
33	17,78	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
34	17,32	ON	OFF	OFF	0,00	ON	0,00
35	18,22	ON	OFF	OFF	0,00	OFF	0,00
36	18,64	ON	OFF	OFF	0,00	OFF	0,00
37	19,67	ON	OFF	OFF	0,00	OFF	0,00
38	19,53	OFF	OFF	OFF	0,00	OFF	0,00
39	20,56	OFF	OFF	OFF	0,00	OFF	0,00
40	20,90	OFF	OFF	OFF	98,49	OFF	10,00
41	21,46	OFF	OFF	OFF	96,20	OFF	12,00
42	21,50	OFF	OFF	OFF	97,15	OFF	18,00
43	21,77	OFF	OFF	OFF	101,35	ON	19,22
44	22,77	OFF	OFF	OFF	102,78	ON	20,15
45	23,40	OFF	OFF	OFF	97,30	OFF	21,45

46	23.64	OFF	OFF	OFF	95.61	OFF	23.17
47	23.50	OFF	OFF	OFF	104.20	ON	24.00
48	24.39	OFF	OFF	OFF	100.95	ON	25.12
49	25.23	OFF	OFF	OFF	101.66	ON	26.74
50	25.14	OFF	OFF	OFF	97.45	OFF	30.77
51	25.45	OFF	OFF	OFF	98.21	OFF	31.20
52	26.53	OFF	OFF	OFF	99.73	OFF	32.00
53	26.93	OFF	OFF	OFF	98.33	OFF	31.83
54	26.96	OFF	OFF	OFF	98.70	OFF	32.81
55	27.38	OFF	OFF	OFF	102.51	ON	33.01
56	28.31	OFF	OFF	OFF	100.51	ON	33.46
57	28.34	OFF	OFF	OFF	103.43	ON	33.64
58	29.29	OFF	OFF	OFF	99.08	OFF	34.56
59	28.97	OFF	OFF	OFF	99.46	OFF	34.66
60	29.60	OFF	OFF	OFF	100.83	ON	35.30
61	29.90	OFF	OFF	OFF	102.64	ON	34.84
62	30.77	OFF	OFF	OFF	96.14	OFF	36.14
63	31.44	OFF	OFF	OFF	98.40	OFF	37.05
64	31.60	OFF	OFF	OFF	95.44	OFF	36.70
65	32.29	OFF	OFF	OFF	94.83	OFF	38.09
66	32.97	OFF	OFF	OFF	100.11	ON	38.28
67	32.78	OFF	OFF	OFF	99.93	OFF	38.10
68	33.38	OFF	OFF	OFF	99.04	OFF	39.13
69	34.50	OFF	OFF	OFF	97.59	OFF	39.83
70	34.41	OFF	OFF	OFF	96.46	OFF	39.32
71	35.34	OFF	OFF	OFF	99.86	OFF	41.16
72	35.50	OFF	OFF	OFF	100.19	ON	40.41
73	36.20	OFF	OFF	OFF	96.59	OFF	41.56
74	36.60	OFF	OFF	OFF	98.51	OFF	41.72
75	36.97	OFF	OFF	OFF	99.05	OFF	42.14
76	36.93	OFF	OFF	OFF	97.73	OFF	42.61
77	37.45	OFF	OFF	OFF	97.71	OFF	42.95
78	38.34	OFF	OFF	OFF	100.75	ON	43.45
79	38.41	OFF	OFF	OFF	99.96	OFF	44.06
80	38.84	OFF	OFF	OFF	96.95	OFF	43.94
81	39.59	OFF	OFF	OFF	98.31	OFF	44.85
82	39.76	OFF	OFF	OFF	99.70	OFF	44.78
83	39.82	OFF	OFF	OFF	101.15	ON	45.19
84	40.56	OFF	OFF	OFF	102.70	ON	45.49
85	39.86	OFF	OFF	OFF	102.55	ON	44.77
86	39.92	OFF	OFF	OFF	97.31	OFF	45.73
87	40.16	OFF	OFF	OFF	101.00	ON	45.83
88	39.96	OFF	OFF	OFF	94.69	OFF	45.84
89	40.76	OFF	OFF	OFF	99.03	OFF	46.06
90	40.77	OFF	OFF	OFF	102.38	ON	46.59
91	40.60	OFF	OFF	OFF	96.63	OFF	45.58
92	40.95	OFF	OFF	OFF	97.14	OFF	46.06
93	40.78	OFF	OFF	OFF	101.06	ON	46.43
94	40.94	OFF	OFF	OFF	97.38	OFF	45.92
95	41.38	OFF	OFF	OFF	96.96	OFF	46.69
96	41.56	OFF	OFF	OFF	102.44	ON	46.89
97	41.45	OFF	OFF	OFF	97.30	OFF	46.83
98	41.05	OFF	OFF	OFF	98.16	OFF	46.29

99	41,28	OFF	OFF	OFF	100,38	ON	46,54
100	41,72	OFF	OFF	OFF	97,70	OFF	46,66
101	41,92	OFF	OFF	OFF	97,10	OFF	47,67
102	41,80	OFF	OFF	OFF	99,93	OFF	46,74
103	42,47	OFF	OFF	OFF	97,54	OFF	48,24
104	43,04	OFF	OFF	OFF	98,98	OFF	48,41
105	43,08	OFF	OFF	OFF	96,11	OFF	48,65
106	43,17	OFF	OFF	OFF	101,49	ON	49,04
107	43,30	OFF	OFF	OFF	99,53	OFF	48,61
108	42,77	OFF	OFF	OFF	103,44	ON	48,44
109	43,26	OFF	OFF	OFF	94,01	OFF	48,39
110	44,06	OFF	OFF	OFF	103,91	ON	49,81
111	43,74	OFF	OFF	OFF	101,40	ON	49,59
112	43,75	OFF	OFF	OFF	103,03	ON	49,12
113	44,03	OFF	OFF	OFF	95,06	OFF	49,02
114	44,58	OFF	OFF	OFF	102,43	ON	49,63
115	45,11	OFF	ON	OFF	96,44	OFF	50,89
116	44,47	OFF	OFF	OFF	96,75	OFF	50,15
117	45,17	OFF	ON	OFF	100,31	ON	50,45
118	45,57	OFF	ON	OFF	95,46	OFF	51,23
119	44,99	OFF	OFF	OFF	97,79	OFF	50,88
120	45,38	OFF	ON	OFF	100,71	ON	51,22
121	45,47	OFF	ON	OFF	103,75	ON	50,38
122	45,72	OFF	ON	OFF	100,31	ON	51,05
123	46,38	OFF	ON	OFF	102,73	ON	52,25
124	46,21	OFF	ON	OFF	96,98	OFF	51,67
125	47,13	OFF	ON	OFF	98,91	OFF	52,74
126	46,82	OFF	ON	OFF	100,08	ON	52,44
127	46,12	OFF	ON	OFF	102,25	ON	51,89
128	45,65	OFF	ON	OFF	102,04	ON	51,12
129	46,07	OFF	ON	OFF	100,66	ON	51,11
130	45,48	OFF	ON	OFF	98,24	OFF	51,11
131	45,93	OFF	ON	OFF	102,94	ON	51,25
132	45,52	OFF	ON	OFF	97,28	OFF	51,38
133	44,88	OFF	ON	OFF	95,65	OFF	50,37
134	44,73	OFF	ON	OFF	101,18	ON	50,15
135	44,44	OFF	ON	OFF	97,53	OFF	49,68
136	44,56	OFF	ON	OFF	100,43	ON	49,58
137	44,36	OFF	ON	OFF	100,80	ON	49,82
138	44,54	OFF	ON	OFF	99,00	OFF	50,12
139	43,60	OFF	ON	OFF	97,24	OFF	49,01
140	43,93	OFF	ON	OFF	96,85	OFF	49,39
141	43,53	OFF	ON	OFF	101,23	ON	49,03
142	43,74	OFF	ON	OFF	99,20	OFF	49,51
143	43,36	OFF	ON	OFF	102,05	ON	48,85
144	42,89	OFF	ON	OFF	100,84	ON	47,88
145	42,48	OFF	ON	OFF	95,95	OFF	47,61
146	42,77	OFF	ON	OFF	101,06	ON	48,03
147	41,84	OFF	ON	OFF	103,28	ON	47,56
148	42,16	OFF	ON	OFF	97,90	OFF	47,61
149	41,96	OFF	ON	OFF	100,14	ON	47,45
150	41,15	OFF	ON	OFF	99,26	OFF	46,67
151	42,01	OFF	OFF	OFF	97,58	OFF	47,23

152	42.14	OFF	OFF	OFF	97.43	OFF	47.71
153	42.42	OFF	OFF	OFF	99.13	OFF	48.19
154	42.05	OFF	OFF	OFF	95.95	OFF	47.84
155	42.32	OFF	OFF	OFF	102.39	ON	47.57
156	42.55	OFF	OFF	OFF	99.66	OFF	47.65
157	42.91	OFF	OFF	OFF	104.06	ON	48.00
158	43.32	OFF	OFF	OFF	101.03	ON	48.43
159	42.93	OFF	OFF	OFF	100.24	ON	48.54
160	42.93	OFF	OFF	OFF	94.15	OFF	48.57
161	43.70	OFF	OFF	OFF	95.24	OFF	48.75
162	44.19	OFF	OFF	OFF	99.88	OFF	49.74
163	44.27	OFF	OFF	OFF	98.40	OFF	50.12
164	44.63	OFF	OFF	OFF	98.66	OFF	49.74
165	44.68	OFF	OFF	OFF	101.56	ON	50.15
166	44.95	OFF	OFF	OFF	99.01	OFF	50.57
167	44.67	OFF	OFF	OFF	96.09	OFF	50.24
168	44.83	OFF	OFF	OFF	95.70	OFF	49.75
169	45.05	OFF	OFF	OFF	100.08	ON	50.58
170	45.48	OFF	OFF	OFF	103.91	ON	50.82
171	46.19	OFF	OFF	OFF	100.24	ON	51.65
172	45.86	OFF	OFF	OFF	102.03	ON	50.98
173	45.82	OFF	OFF	OFF	99.53	OFF	51.66
174	46.32	OFF	OFF	OFF	98.28	OFF	51.32
175	46.31	OFF	ON	OFF	100.44	ON	51.23
176	46.58	OFF	ON	OFF	101.88	ON	52.15
177	46.25	OFF	ON	OFF	104.53	ON	51.97
178	46.33	OFF	ON	OFF	96.86	OFF	51.63
179	46.08	OFF	ON	OFF	103.31	ON	51.42
180	45.67	OFF	ON	OFF	98.48	OFF	50.97
181	45.45	OFF	ON	OFF	97.41	OFF	50.84
182	45.66	OFF	ON	OFF	100.49	ON	50.77
183	44.89	OFF	ON	OFF	98.60	OFF	50.42
184	45.12	OFF	ON	OFF	99.66	OFF	50.37
185	44.19	OFF	ON	OFF	97.26	OFF	49.14
186	43.87	OFF	ON	OFF	103.75	ON	49.71
187	43.80	OFF	ON	OFF	94.84	OFF	48.83
188	44.09	OFF	ON	OFF	103.74	ON	49.79
189	43.89	OFF	ON	OFF	100.10	ON	49.77
190	44.07	OFF	ON	OFF	100.93	ON	49.59
191	43.61	OFF	ON	OFF	102.44	ON	48.87
192	43.28	OFF	ON	OFF	99.71	OFF	49.07
193	43.16	OFF	ON	OFF	99.94	OFF	48.40
194	42.54	OFF	ON	OFF	96.95	OFF	47.92
195	42.53	OFF	ON	OFF	99.35	OFF	47.83
196	42.17	OFF	ON	OFF	96.94	OFF	47.55
197	42.76	OFF	ON	OFF	98.44	OFF	48.30
198	41.98	OFF	ON	OFF	102.04	ON	47.01
199	42.21	OFF	ON	OFF	98.00	OFF	47.16
200	41.13	OFF	ON	OFF	103.73	ON	46.10
201	41.33	OFF	OFF	OFF	98.80	OFF	46.99
202	42.15	OFF	OFF	OFF	100.36	ON	47.99
203	41.70	OFF	OFF	OFF	99.86	OFF	47.25
204	41.73	OFF	OFF	OFF	98.00	OFF	47.07

205	42,54	OFF	OFF	OFF	98,20	OFF	47,84
206	42,54	OFF	OFF	OFF	99,41	OFF	48,24
207	43,34	OFF	OFF	OFF	101,39	ON	48,27
208	42,89	OFF	OFF	OFF	96,35	OFF	48,19
209	43,36	OFF	OFF	OFF	94,25	OFF	48,90
210	43,65	OFF	OFF	OFF	102,00	ON	49,26
211	44,18	OFF	OFF	OFF	102,25	ON	49,43
212	44,02	OFF	OFF	OFF	98,20	OFF	49,10
213	44,51	OFF	OFF	OFF	99,51	OFF	49,54
214	44,30	OFF	OFF	OFF	101,14	ON	49,72
215	44,26	OFF	OFF	OFF	102,50	ON	50,11
216	44,51	OFF	OFF	OFF	99,94	OFF	49,64
217	44,96	OFF	OFF	OFF	98,09	OFF	50,84
218	45,15	OFF	OFF	OFF	99,68	OFF	50,63
219	45,00	OFF	OFF	OFF	96,83	OFF	50,74
220	45,08	OFF	OFF	OFF	100,06	ON	50,18
221	45,87	OFF	OFF	OFF	99,50	OFF	51,58
222	45,97	OFF	OFF	OFF	100,55	ON	51,71
223	45,67	OFF	OFF	OFF	98,35	OFF	50,98
224	46,36	OFF	OFF	OFF	100,83	ON	52,18
225	46,91	OFF	OFF	OFF	99,69	OFF	52,58
226	46,32	OFF	ON	OFF	97,11	OFF	52,12
227	45,77	OFF	ON	OFF	99,69	OFF	51,37
228	45,76	OFF	ON	OFF	97,54	OFF	51,21
229	45,55	OFF	ON	OFF	101,10	ON	50,60
230	45,60	OFF	ON	OFF	98,36	OFF	51,16
231	45,27	OFF	ON	OFF	97,88	OFF	50,62
232	44,57	OFF	ON	OFF	94,85	OFF	49,50
233	45,00	OFF	ON	OFF	99,00	OFF	49,93
234	44,77	OFF	ON	OFF	95,73	OFF	50,32
235	44,32	OFF	ON	OFF	100,04	ON	49,57
236	44,26	OFF	ON	OFF	96,89	OFF	49,45
237	43,82	OFF	ON	OFF	97,79	OFF	49,65
238	43,72	OFF	ON	OFF	100,14	ON	49,29
239	43,34	OFF	ON	OFF	100,69	ON	48,35
240	43,58	OFF	ON	OFF	100,28	ON	49,24
241	42,92	OFF	ON	OFF	99,54	OFF	48,66
242	43,29	OFF	ON	OFF	101,06	ON	48,42
243	42,81	OFF	ON	OFF	100,06	ON	47,71
244	42,68	OFF	ON	OFF	99,13	OFF	47,95
245	42,73	OFF	ON	OFF	101,39	ON	48,27
246	42,46	OFF	ON	OFF	100,70	ON	47,68
247	42,10	OFF	ON	OFF	98,40	OFF	47,08
248	42,27	OFF	ON	OFF	102,00	ON	47,87
249	42,08	OFF	ON	OFF	100,95	ON	47,36
250	41,05	OFF	ON	OFF	101,56	ON	46,56
251	41,46	OFF	OFF	OFF	96,49	OFF	46,79
252	41,35	OFF	OFF	OFF	100,95	ON	47,03
253	41,80	OFF	OFF	OFF	97,63	OFF	47,68
254	41,94	OFF	OFF	OFF	100,80	ON	47,27
255	41,97	OFF	OFF	OFF	97,73	OFF	46,93
256	42,86	OFF	OFF	OFF	104,25	ON	48,33
257	42,32	OFF	OFF	OFF	99,56	OFF	47,45

258	43.02	OFF	OFF	OFF	97.39	OFF	47.93
259	43.11	OFF	OFF	OFF	101.15	ON	48.22
260	42.85	OFF	OFF	OFF	97.64	OFF	47.96
261	43.99	OFF	OFF	OFF	100.45	ON	48.95
262	44.29	OFF	OFF	OFF	102.79	ON	49.20
263	44.29	OFF	OFF	OFF	100.20	ON	49.97
264	43.89	OFF	OFF	OFF	97.25	OFF	48.85
265	44.24	OFF	OFF	OFF	97.99	OFF	49.26
266	44.95	OFF	OFF	OFF	98.00	OFF	50.63
267	44.56	OFF	OFF	OFF	99.63	OFF	50.30
268	45.40	OFF	OFF	OFF	102.74	ON	50.31
269	45.29	OFF	OFF	OFF	98.39	OFF	50.94
270	45.75	OFF	OFF	OFF	97.80	OFF	50.75
271	45.42	OFF	OFF	OFF	98.68	OFF	50.34
272	45.61	OFF	OFF	OFF	102.04	ON	51.43
273	46.45	OFF	OFF	OFF	100.58	ON	51.47
274	46.21	OFF	OFF	OFF	103.98	ON	51.35
275	46.51	OFF	OFF	OFF	96.38	OFF	52.10
276	45.90	OFF	ON	OFF	103.38	ON	51.65
277	45.92	OFF	ON	OFF	96.33	OFF	51.34
278	45.39	OFF	ON	OFF	98.78	OFF	50.90
279	45.65	OFF	ON	OFF	99.05	OFF	50.70
280	44.94	OFF	ON	OFF	100.79	ON	49.94
281	45.00	OFF	ON	OFF	98.19	OFF	50.34
282	44.69	OFF	ON	OFF	95.39	OFF	50.19
283	44.91	OFF	ON	OFF	103.36	ON	50.24
284	44.44	OFF	ON	OFF	100.95	ON	49.89
285	44.55	OFF	ON	OFF	101.94	ON	50.24
286	44.53	OFF	ON	OFF	100.54	ON	50.30
287	44.00	OFF	ON	OFF	101.40	ON	49.03
288	43.74	OFF	ON	OFF	95.66	OFF	49.48
289	43.39	OFF	ON	OFF	102.38	ON	49.18
290	43.65	OFF	ON	OFF	102.71	ON	48.79
291	43.91	OFF	ON	OFF	96.68	OFF	49.47
292	43.66	OFF	ON	OFF	101.94	ON	48.91
293	43.26	OFF	ON	OFF	99.10	OFF	49.12
294	42.78	OFF	ON	OFF	99.34	OFF	47.97
295	42.45	OFF	ON	OFF	96.41	OFF	48.27
296	42.79	OFF	ON	OFF	99.34	OFF	47.85
297	41.94	OFF	ON	OFF	102.55	ON	47.00
298	42.16	OFF	ON	OFF	97.84	OFF	47.27
299	41.79	OFF	ON	OFF	95.20	OFF	47.61
300	41.39	OFF	ON	OFF	98.09	OFF	46.93
301	41.37	OFF	OFF	OFF	96.50	OFF	46.27
302	41.52	OFF	OFF	OFF	97.04	OFF	46.62
303	42.32	OFF	OFF	OFF	96.83	OFF	47.87
304	42.45	OFF	OFF	OFF	96.06	OFF	47.52
305	43.09	OFF	OFF	OFF	99.10	OFF	47.99
306	42.87	OFF	OFF	OFF	97.76	OFF	48.56
307	42.80	OFF	OFF	OFF	103.06	ON	48.28
308	42.84	OFF	OFF	OFF	99.33	OFF	48.67
309	43.77	OFF	OFF	OFF	96.69	OFF	48.78
310	44.05	OFF	OFF	OFF	102.38	ON	49.91

311	43,62	OFF	OFF	OFF	99,34	OFF	49,37
312	43,77	OFF	OFF	OFF	96,06	OFF	49,37
313	43,80	OFF	OFF	OFF	98,14	OFF	49,22
314	44,26	OFF	OFF	OFF	98,70	OFF	50,07
315	44,06	OFF	OFF	OFF	98,33	OFF	49,50
316	45,06	OFF	OFF	OFF	96,26	OFF	50,00
317	45,23	OFF	OFF	OFF	101,43	ON	50,64
318	44,67	OFF	OFF	OFF	102,74	ON	49,94
319	45,68	OFF	OFF	OFF	96,85	OFF	50,75
320	45,38	OFF	OFF	OFF	102,73	ON	50,98
321	45,19	OFF	OFF	OFF	98,11	OFF	51,03
322	46,02	OFF	OFF	OFF	100,23	ON	51,18
323	46,42	OFF	OFF	OFF	97,78	OFF	51,96
324	46,14	OFF	OFF	OFF	103,24	ON	51,35
325	46,42	OFF	ON	OFF	98,53	OFF	52,14
326	45,99	OFF	ON	OFF	103,75	ON	51,31
327	45,93	OFF	ON	OFF	97,79	OFF	51,60
328	46,36	OFF	ON	OFF	100,89	ON	51,94
329	45,66	OFF	ON	OFF	103,54	ON	51,24
330	45,13	OFF	ON	OFF	97,71	OFF	50,95
331	45,25	OFF	ON	OFF	98,21	OFF	50,27
332	45,05	OFF	ON	OFF	95,36	OFF	50,87
333	44,68	OFF	ON	OFF	99,38	OFF	50,30
334	44,95	OFF	ON	OFF	94,21	OFF	49,91
335	44,00	OFF	ON	OFF	98,56	OFF	49,25
336	43,92	OFF	ON	OFF	99,34	OFF	49,35
337	43,50	OFF	ON	OFF	95,73	OFF	48,52
338	43,59	OFF	ON	OFF	98,83	OFF	48,51
339	43,45	OFF	ON	OFF	100,20	ON	48,65
340	43,52	OFF	ON	OFF	95,14	OFF	48,66
341	43,05	OFF	ON	OFF	100,90	ON	48,30
342	42,84	OFF	ON	OFF	99,79	OFF	48,49
343	42,40	OFF	ON	OFF	97,51	OFF	48,02
344	42,71	OFF	ON	OFF	102,39	ON	47,65
345	42,41	OFF	ON	OFF	101,89	ON	47,40
346	42,01	OFF	ON	OFF	98,39	OFF	47,63
347	41,84	OFF	ON	OFF	103,38	ON	47,59
348	42,41	OFF	ON	OFF	97,41	OFF	48,16
349	42,09	OFF	ON	OFF	100,41	ON	47,19
350	41,42	OFF	ON	OFF	96,85	OFF	46,56
351	42,02	OFF	OFF	OFF	96,29	OFF	47,86
352	42,40	OFF	OFF	OFF	101,76	ON	47,68
353	42,55	OFF	OFF	OFF	95,79	OFF	47,75
354	41,94	OFF	OFF	OFF	102,63	ON	47,73
355	42,23	OFF	OFF	OFF	99,58	OFF	48,11
356	43,18	OFF	OFF	OFF	98,66	OFF	48,64
357	43,33	OFF	OFF	OFF	101,84	ON	49,20
358	42,86	OFF	OFF	OFF	97,96	OFF	47,82
359	43,28	OFF	OFF	OFF	100,41	ON	48,64
360	43,36	OFF	OFF	OFF	100,29	ON	48,36
361	43,62	OFF	OFF	OFF	99,25	OFF	49,22
362	43,99	OFF	OFF	OFF	97,85	OFF	49,26
363	44,46	OFF	OFF	OFF	98,25	OFF	50,35

364	44.86	OFF	OFF	OFF	101.38	ON	50.56
365	44.31	OFF	OFF	OFF	103.80	ON	49.67
366	45.05	OFF	OFF	OFF	97.13	OFF	50.06
367	44.87	OFF	OFF	OFF	99.73	OFF	49.90
368	44.78	OFF	OFF	OFF	94.85	OFF	50.43
369	45.21	OFF	OFF	OFF	101.79	ON	51.07
370	45.45	OFF	OFF	OFF	99.36	OFF	51.11
371	45.44	OFF	OFF	OFF	100.38	ON	50.87
372	46.00	OFF	OFF	OFF	100.56	ON	51.57
373	45.84	OFF	OFF	OFF	98.95	OFF	51.00
374	45.92	OFF	OFF	OFF	96.84	OFF	51.34
375	46.21	OFF	ON	OFF	95.58	OFF	51.58
376	46.59	OFF	ON	OFF	97.61	OFF	52.39
377	46.04	OFF	ON	OFF	101.35	ON	51.52
378	45.57	OFF	ON	OFF	101.81	ON	51.40
379	45.81	OFF	ON	OFF	99.91	OFF	51.64
380	45.71	OFF	ON	OFF	103.44	ON	50.78
381	45.07	OFF	ON	OFF	100.06	ON	50.21
382	44.77	OFF	ON	OFF	96.08	OFF	50.09
383	45.37	OFF	ON	OFF	102.90	ON	50.88
384	45.03	OFF	ON	OFF	101.44	ON	50.41

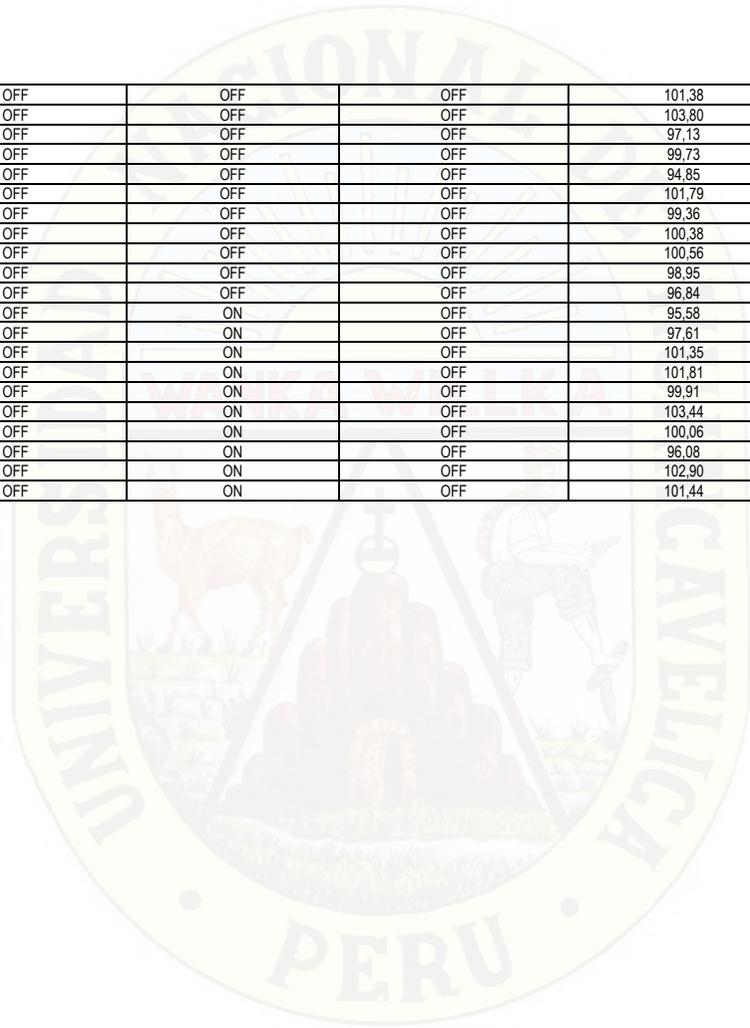


Tabla 11.2. Datos adquiridos con el sistema de control implementado.

Nº Muestra	Temperatura de aceite en el tanque hidráulico 284-TSH-1113 (0 a 100 °C)	Calefactor con resistencia eléctrica (ON=Activado, OFF=Desactivado)	Ventilador (ON=Activado, OFF=Desactivado)	Alarma de alta Temperatura de aceite en el tanque hidráulico (>=50 °C)	Nivel de cama de sólidos espesados 284-LIT-0003 (0 - 100 cm)	Estado alarma general (ON=Activado, OFF=Desactivado)	Torque del motor hidráulico 284-OIT-1102 (%)	Motor hidráulico 284-TM-052-M1 (ON=Activado, OFF=Apagado)	Estado rastra
01	0.00	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
02	0.50	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
03	0.94	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
04	1.38	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
05	1.94	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
06	2.31	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
07	2.88	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
08	3.31	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
09	3.75	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
10	4.25	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
11	4.75	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
12	5.25	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
13	5.81	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
14	6.38	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
15	6.88	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
16	7.44	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
17	7.88	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
18	8.38	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
19	8.75	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
20	9.25	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
21	9.81	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
22	10.31	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
23	10.81	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
24	11.38	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
25	11.94	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
26	12.44	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
27	13.00	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
28	13.44	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
29	14.00	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
30	14.38	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
31	14.81	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
32	15.25	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
33	15.81	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
34	16.19	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
35	16.63	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
36	17.13	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
37	17.69	ON	OFF	OFF	0.00	ON	0.00	OFF	Detenido_Alzado
38	18.25	OFF	OFF	OFF	0.00	OFF	0.00	OFF	Detenido_Alzado
39	18.69	OFF	OFF	OFF	0.00	OFF	0.00	ON	Activado_Abajo
40	19.06	OFF	OFF	OFF	12.00	OFF	10.00	ON	Activado_Abajo
41	19.63	OFF	OFF	OFF	18.00	OFF	12.00	ON	Activado_Abajo
42	20.19	OFF	OFF	OFF	27.00	OFF	18.00	ON	Activado_Abajo
43	20.69	OFF	OFF	OFF	30.00	OFF	19.22	ON	Activado_Abajo
44	21.06	OFF	OFF	OFF	35.00	OFF	20.15	ON	Activado_Abajo
45	21.63	OFF	OFF	OFF	46.00	OFF	21.45	ON	Activado_Abajo
46	22.00	OFF	OFF	OFF	50.00	OFF	23.17	ON	Activado_Abajo

47	22.44	OFF	OFF	OFF	97.50	OFF	47.60	ON	Activado Abajo
48	22.88	OFF	OFF	OFF	99.75	OFF	49.95	ON	Activado Abajo
49	23.31	OFF	OFF	OFF	95.88	OFF	43.05	ON	Activado Abajo
50	23.69	OFF	OFF	OFF	95.25	OFF	42.42	ON	Activado Abajo
51	24.06	OFF	OFF	OFF	97.31	OFF	44.44	ON	Activado Abajo
52	24.56	OFF	OFF	OFF	99.50	OFF	46.61	ON	Activado Abajo
53	24.94	OFF	OFF	OFF	99.38	OFF	46.53	ON	Activado Abajo
54	25.44	OFF	OFF	OFF	95.25	OFF	42.40	ON	Activado Abajo
55	25.88	OFF	OFF	OFF	98.50	OFF	45.65	ON	Activado Abajo
56	26.31	OFF	OFF	OFF	95.50	OFF	42.64	ON	Activado Abajo
57	26.81	OFF	OFF	OFF	97.94	OFF	45.12	ON	Activado Abajo
58	27.38	OFF	OFF	OFF	99.56	OFF	46.75	ON	Activado Abajo
59	27.75	OFF	OFF	OFF	94.69	OFF	41.82	ON	Activado Abajo
60	28.25	OFF	OFF	OFF	98.94	OFF	46.04	ON	Activado Abajo
61	28.75	OFF	OFF	OFF	94.38	OFF	41.50	ON	Activado Abajo
62	29.31	OFF	OFF	OFF	95.94	OFF	43.07	ON	Activado Abajo
63	29.88	OFF	OFF	OFF	96.69	OFF	43.83	ON	Activado Abajo
64	30.38	OFF	OFF	OFF	99.38	OFF	46.48	ON	Activado Abajo
65	30.75	OFF	OFF	OFF	94.56	OFF	41.75	ON	Activado Abajo
66	31.25	OFF	OFF	OFF	95.31	OFF	42.42	ON	Activado Abajo
67	31.63	OFF	OFF	OFF	98.00	OFF	45.10	ON	Activado Abajo
68	32.19	OFF	OFF	OFF	99.00	OFF	46.15	ON	Activado Abajo
69	32.75	OFF	OFF	OFF	93.81	OFF	40.94	ON	Activado Abajo
70	33.13	OFF	OFF	OFF	93.88	OFF	41.02	ON	Activado Abajo
71	33.56	OFF	OFF	OFF	95.56	OFF	42.67	ON	Activado Abajo
72	34.00	OFF	OFF	OFF	96.25	OFF	43.39	ON	Activado Abajo
73	34.50	OFF	OFF	OFF	97.56	OFF	44.67	ON	Activado Abajo
74	35.00	OFF	OFF	OFF	97.31	OFF	44.44	ON	Activado Abajo
75	35.38	OFF	OFF	OFF	94.25	OFF	41.36	ON	Activado Abajo
76	35.88	OFF	OFF	OFF	99.19	OFF	46.30	ON	Activado Abajo
77	36.31	OFF	OFF	OFF	94.13	OFF	41.27	ON	Activado Abajo
78	36.75	OFF	OFF	OFF	97.19	OFF	44.31	ON	Activado Abajo
79	37.19	OFF	OFF	OFF	94.44	OFF	41.58	ON	Activado Abajo
80	37.63	OFF	OFF	OFF	97.69	OFF	44.84	ON	Activado Abajo
81	38.06	OFF	OFF	OFF	97.44	OFF	44.61	ON	Activado Abajo
82	38.56	OFF	OFF	OFF	94.63	OFF	41.82	ON	Activado Abajo
83	38.56	OFF	OFF	OFF	96.25	OFF	43.40	ON	Activado Abajo
84	38.63	OFF	OFF	OFF	97.88	OFF	45.02	ON	Activado Abajo
85	38.69	OFF	OFF	OFF	93.88	OFF	41.05	ON	Activado Abajo
86	38.81	OFF	OFF	OFF	93.75	OFF	40.93	ON	Activado Abajo
87	38.88	OFF	OFF	OFF	94.00	OFF	41.13	ON	Activado Abajo
88	38.94	OFF	OFF	OFF	98.06	OFF	45.26	ON	Activado Abajo
89	39.06	OFF	OFF	OFF	99.31	OFF	46.45	ON	Activado Abajo
90	39.19	OFF	OFF	OFF	95.63	OFF	42.78	ON	Activado Abajo
91	39.19	OFF	OFF	OFF	98.31	OFF	45.51	ON	Activado Abajo
92	39.25	OFF	OFF	OFF	98.56	OFF	45.74	ON	Activado Abajo
93	39.31	OFF	OFF	OFF	94.94	OFF	42.13	ON	Activado Abajo
94	39.44	OFF	OFF	OFF	98.31	OFF	45.51	ON	Activado Abajo
95	39.50	OFF	OFF	OFF	94.44	OFF	41.62	ON	Activado Abajo
96	39.56	OFF	OFF	OFF	99.13	OFF	46.28	ON	Activado Abajo
97	39.63	OFF	OFF	OFF	94.38	OFF	41.48	ON	Activado Abajo
98	39.69	OFF	OFF	OFF	99.94	OFF	47.07	ON	Activado Abajo
99	40.00	OFF	OFF	OFF	97.63	OFF	44.77	ON	Activado Abajo

100	40.25	OFF	OFF	OFF	96.94	OFF	44.10	ON	Activado_Abajo
101	40.44	OFF	OFF	OFF	95.94	OFF	43.04	ON	Activado_Abajo
102	40.63	OFF	OFF	OFF	93.81	OFF	44.95	ON	Activado_Abajo
103	40.81	OFF	OFF	OFF	93.94	OFF	41.04	ON	Activado_Abajo
104	41.06	OFF	OFF	OFF	94.63	OFF	46.81	ON	Activado_Abajo
105	41.25	OFF	OFF	OFF	94.13	OFF	46.30	ON	Activado_Abajo
106	41.38	OFF	OFF	OFF	95.38	OFF	42.48	ON	Activado_Abajo
107	41.50	OFF	OFF	OFF	95.25	OFF	42.44	ON	Activado_Abajo
108	41.75	OFF	OFF	OFF	94.06	OFF	41.24	ON	Activado_Abajo
109	41.88	OFF	OFF	OFF	94.19	OFF	46.34	ON	Activado_Abajo
110	42.06	OFF	OFF	OFF	93.88	OFF	45.08	ON	Activado_Abajo
111	42.31	OFF	OFF	OFF	94.25	OFF	45.43	ON	Activado_Abajo
112	42.56	OFF	OFF	OFF	95.81	OFF	42.98	ON	Activado_Abajo
113	42.81	OFF	OFF	OFF	95.56	OFF	44.75	ON	Activado_Abajo
114	43.00	OFF	OFF	OFF	94.25	OFF	45.40	ON	Activado_Abajo
115	43.12	OFF	OFF	OFF	95.81	OFF	44.98	ON	Activado_Abajo
116	43.31	OFF	OFF	OFF	95.75	OFF	42.95	ON	Activado_Abajo
117	43.44	OFF	OFF	OFF	95.19	OFF	42.34	ON	Activado_Abajo
118	43.69	OFF	OFF	OFF	93.75	OFF	45.95	ON	Activado_Abajo
119	43.94	OFF	OFF	OFF	95.31	OFF	44.46	ON	Activado_Abajo
120	44.19	OFF	OFF	OFF	94.94	OFF	47.11	ON	Activado_Abajo
121	44.44	OFF	OFF	OFF	95.06	OFF	44.23	ON	Activado_Abajo
122	44.62	OFF	OFF	OFF	95.94	OFF	47.11	ON	Activado_Abajo
123	44.75	OFF	OFF	OFF	95.31	OFF	44.45	ON	Activado_Abajo
124	44.94	OFF	OFF	OFF	96.13	OFF	45.30	ON	Activado_Abajo
125	45.19	OFF	ON	OFF	95.00	OFF	52.00	ON	Activado_Arriba
126	44.94	OFF	ON	OFF	95.94	OFF	50.00	ON	Activado_Arriba
127	44.81	OFF	ON	OFF	95.63	OFF	48.00	ON	Activado_Arriba
128	44.62	OFF	ON	OFF	95.06	OFF	46.00	ON	Activado_Arriba
129	44.37	OFF	ON	OFF	95.69	OFF	44.00	ON	Activado_Arriba
130	44.19	OFF	ON	OFF	94.63	OFF	45.00	ON	Activado_Abajo
131	44.00	OFF	ON	OFF	94.69	OFF	46.00	ON	Activado_Abajo
132	43.81	OFF	ON	OFF	94.56	OFF	46.00	ON	Activado_Abajo
133	43.56	OFF	ON	OFF	95.50	OFF	46.63	ON	Activado_Abajo
134	43.31	OFF	ON	OFF	94.38	OFF	45.48	ON	Activado_Abajo
135	43.19	OFF	ON	OFF	94.31	OFF	45.50	ON	Activado_Abajo
136	43.00	OFF	ON	OFF	95.31	OFF	46.51	ON	Activado_Abajo
137	42.81	OFF	ON	OFF	95.00	OFF	45.16	ON	Activado_Abajo
138	42.69	OFF	ON	OFF	95.63	OFF	46.75	ON	Activado_Abajo
139	42.44	OFF	ON	OFF	95.00	OFF	47.19	ON	Activado_Abajo
140	42.19	OFF	ON	OFF	95.63	OFF	46.76	ON	Activado_Abajo
141	41.94	OFF	ON	OFF	95.38	OFF	45.51	ON	Activado_Abajo
142	41.75	OFF	ON	OFF	95.00	OFF	46.12	ON	Activado_Abajo
143	41.56	OFF	ON	OFF	94.75	OFF	41.85	ON	Activado_Abajo
144	41.38	OFF	ON	OFF	95.19	OFF	46.36	ON	Activado_Abajo
145	41.13	OFF	ON	OFF	95.81	OFF	42.91	ON	Activado_Abajo
146	40.94	OFF	ON	OFF	94.00	OFF	45.13	ON	Activado_Abajo
147	40.81	OFF	ON	OFF	95.69	OFF	42.89	ON	Activado_Abajo
148	40.56	OFF	ON	OFF	95.31	OFF	45.46	ON	Activado_Abajo
149	40.31	OFF	ON	OFF	93.75	OFF	45.93	ON	Activado_Abajo
150	40.00	OFF	ON	OFF	95.63	OFF	42.73	ON	Activado_Abajo
151	40.13	OFF	OFF	OFF	96.06	OFF	43.24	ON	Activado_Abajo
152	40.31	OFF	OFF	OFF	95.75	OFF	44.89	ON	Activado_Abajo

153	40.56	OFF	OFF	OFF	94.88	OFF	44.99	ON	Activado Abajo
154	40.75	OFF	OFF	OFF	95.06	OFF	46.22	ON	Activado Abajo
155	40.94	OFF	OFF	OFF	95.75	OFF	44.86	ON	Activado Abajo
156	41.06	OFF	OFF	OFF	95.63	OFF	44.75	ON	Activado Abajo
157	41.25	OFF	OFF	OFF	94.56	OFF	43.76	ON	Activado Abajo
158	41.50	OFF	OFF	OFF	94.38	OFF	44.49	ON	Activado Abajo
159	41.69	OFF	OFF	OFF	94.13	OFF	45.28	ON	Activado Abajo
160	41.81	OFF	OFF	OFF	95.13	OFF	46.32	ON	Activado Abajo
161	42.06	OFF	OFF	OFF	96.81	OFF	46.98	ON	Activado Abajo
162	42.31	OFF	OFF	OFF	96.38	OFF	46.53	ON	Activado Abajo
163	42.56	OFF	OFF	OFF	94.19	OFF	46.37	ON	Activado Abajo
164	42.69	OFF	OFF	OFF	95.81	OFF	46.00	ON	Activado Abajo
165	42.94	OFF	OFF	OFF	95.81	OFF	45.01	ON	Activado Abajo
166	43.19	OFF	OFF	OFF	94.69	OFF	44.83	ON	Activado Abajo
167	43.37	OFF	OFF	OFF	95.81	OFF	42.93	ON	Activado Abajo
168	43.56	OFF	OFF	OFF	94.38	OFF	45.58	ON	Activado Abajo
169	43.81	OFF	OFF	OFF	93.88	OFF	45.03	ON	Activado Abajo
170	44.06	OFF	OFF	OFF	95.81	OFF	46.00	ON	Activado Abajo
171	44.25	OFF	OFF	OFF	95.56	OFF	46.68	ON	Activado Abajo
172	44.44	OFF	OFF	OFF	93.81	OFF	45.97	ON	Activado Abajo
173	44.56	OFF	OFF	OFF	95.63	OFF	43.79	ON	Activado Abajo
174	44.81	OFF	OFF	OFF	94.19	OFF	45.33	ON	Activado Abajo
175	45.06	OFF	ON	OFF	94.12	OFF	50.12	ON	Activado Arriba
176	44.81	OFF	ON	OFF	95.94	OFF	47.00	ON	Activado Arriba
177	44.56	OFF	ON	OFF	95.50	OFF	46.00	ON	Activado Arriba
178	44.37	OFF	ON	OFF	94.56	OFF	45.00	ON	Activado Arriba
179	44.19	OFF	ON	OFF	95.88	OFF	44.90	ON	Activado Arriba
180	44.06	OFF	ON	OFF	94.81	OFF	46.92	ON	Activado Abajo
181	43.94	OFF	ON	OFF	96.38	OFF	46.56	ON	Activado Abajo
182	43.69	OFF	ON	OFF	94.94	OFF	45.14	ON	Activado Abajo
183	43.44	OFF	ON	OFF	96.38	OFF	46.48	ON	Activado Abajo
184	43.19	OFF	ON	OFF	94.88	OFF	47.04	ON	Activado Abajo
185	43.06	OFF	ON	OFF	94.06	OFF	44.19	ON	Activado Abajo
186	42.81	OFF	ON	OFF	95.75	OFF	46.93	ON	Activado Abajo
187	42.56	OFF	ON	OFF	95.06	OFF	46.25	ON	Activado Abajo
188	42.44	OFF	ON	OFF	94.69	OFF	46.80	ON	Activado Abajo
189	42.31	OFF	ON	OFF	96.38	OFF	43.57	ON	Activado Abajo
190	42.19	OFF	ON	OFF	95.13	OFF	46.31	ON	Activado Abajo
191	41.94	OFF	ON	OFF	94.25	OFF	44.35	ON	Activado Abajo
192	41.69	OFF	ON	OFF	95.44	OFF	45.57	ON	Activado Abajo
193	41.56	OFF	ON	OFF	96.19	OFF	43.36	ON	Activado Abajo
194	41.38	OFF	ON	OFF	94.63	OFF	41.78	ON	Activado Abajo
195	41.13	OFF	ON	OFF	95.75	OFF	44.93	ON	Activado Abajo
196	41.00	OFF	ON	OFF	95.00	OFF	46.18	ON	Activado Abajo
197	40.81	OFF	ON	OFF	95.63	OFF	46.76	ON	Activado Abajo
198	40.56	OFF	ON	OFF	95.81	OFF	44.96	ON	Activado Abajo
199	40.31	OFF	ON	OFF	94.56	OFF	43.67	ON	Activado Abajo
200	40.13	OFF	ON	OFF	95.63	OFF	44.79	ON	Activado Abajo
201	40.25	OFF	OFF	OFF	95.75	OFF	42.89	ON	Activado Abajo
202	40.44	OFF	OFF	OFF	95.50	OFF	44.62	ON	Activado Abajo
203	40.56	OFF	OFF	OFF	94.00	OFF	47.19	ON	Activado Abajo
204	40.69	OFF	OFF	OFF	95.44	OFF	45.59	ON	Activado Abajo
205	40.94	OFF	OFF	OFF	94.00	OFF	46.19	ON	Activado Abajo

206	41.19	OFF	OFF	OFF	96.44	OFF	43.63	ON	Activado Abajo
207	41.44	OFF	OFF	OFF	94.00	OFF	45.10	ON	Activado Abajo
208	41.69	OFF	OFF	OFF	94.50	OFF	45.63	ON	Activado Abajo
209	41.94	OFF	OFF	OFF	95.81	OFF	42.93	ON	Activado Abajo
210	42.06	OFF	OFF	OFF	94.13	OFF	43.27	ON	Activado Abajo
211	42.31	OFF	OFF	OFF	95.50	OFF	45.68	ON	Activado Abajo
212	42.56	OFF	OFF	OFF	95.94	OFF	44.10	ON	Activado Abajo
213	42.75	OFF	OFF	OFF	94.69	OFF	45.87	ON	Activado Abajo
214	42.87	OFF	OFF	OFF	95.00	OFF	42.12	ON	Activado Abajo
215	43.12	OFF	OFF	OFF	94.88	OFF	47.08	ON	Activado Abajo
216	43.31	OFF	OFF	OFF	94.44	OFF	45.58	ON	Activado Abajo
217	43.44	OFF	OFF	OFF	94.38	OFF	44.53	ON	Activado Abajo
218	43.69	OFF	OFF	OFF	93.06	OFF	43.22	ON	Activado Abajo
219	43.87	OFF	OFF	OFF	93.94	OFF	44.12	ON	Activado Abajo
220	44.06	OFF	OFF	OFF	94.06	OFF	44.17	ON	Activado Abajo
221	44.19	OFF	OFF	OFF	94.44	OFF	44.63	ON	Activado Abajo
222	44.37	OFF	OFF	OFF	94.06	OFF	45.26	ON	Activado Abajo
223	44.62	OFF	OFF	OFF	94.69	OFF	46.85	ON	Activado Abajo
224	44.81	OFF	OFF	OFF	95.25	OFF	42.45	ON	Activado Abajo
225	45.00	OFF	OFF	OFF	94.00	OFF	51.00	ON	Activado Arriba
226	44.75	OFF	ON	OFF	94.63	OFF	46.73	ON	Activado Arriba
227	44.50	OFF	ON	OFF	94.25	OFF	45.41	ON	Activado Arriba
228	44.31	OFF	ON	OFF	93.38	OFF	44.00	ON	Activado Arriba
229	44.12	OFF	ON	OFF	93.94	OFF	46.12	ON	Activado Abajo
230	43.87	OFF	ON	OFF	94.56	OFF	46.72	ON	Activado Abajo
231	43.69	OFF	ON	OFF	94.94	OFF	45.07	ON	Activado Abajo
232	43.56	OFF	ON	OFF	94.88	OFF	41.99	ON	Activado Abajo
233	43.44	OFF	ON	OFF	94.00	OFF	47.11	ON	Activado Abajo
234	43.25	OFF	ON	OFF	93.94	OFF	44.09	ON	Activado Abajo
235	43.00	OFF	ON	OFF	94.25	OFF	46.44	ON	Activado Abajo
236	42.75	OFF	ON	OFF	94.44	OFF	41.62	ON	Activado Abajo
237	42.50	OFF	ON	OFF	92.06	OFF	42.22	ON	Activado Abajo
238	42.31	OFF	ON	OFF	94.19	OFF	46.34	ON	Activado Abajo
239	42.19	OFF	ON	OFF	94.38	OFF	46.51	ON	Activado Abajo
240	42.00	OFF	ON	OFF	94.75	OFF	47.88	ON	Activado Abajo
241	41.88	OFF	ON	OFF	93.13	OFF	44.27	ON	Activado Abajo
242	41.75	OFF	ON	OFF	93.69	OFF	43.86	ON	Activado Abajo
243	41.50	OFF	ON	OFF	96.13	OFF	43.28	ON	Activado Abajo
244	41.31	OFF	ON	OFF	93.50	OFF	44.69	ON	Activado Abajo
245	41.06	OFF	ON	OFF	93.44	OFF	44.56	ON	Activado Abajo
246	40.94	OFF	ON	OFF	95.63	OFF	42.78	ON	Activado Abajo
247	40.69	OFF	ON	OFF	93.13	OFF	44.24	ON	Activado Abajo
248	40.44	OFF	ON	OFF	93.00	OFF	44.18	ON	Activado Abajo
249	40.25	OFF	ON	OFF	96.44	OFF	43.64	ON	Activado Abajo
250	40.00	OFF	ON	OFF	95.38	OFF	42.58	ON	Activado Abajo
251	40.13	OFF	OFF	OFF	94.38	OFF	46.50	ON	Activado Abajo
252	40.31	OFF	OFF	OFF	96.31	OFF	43.41	ON	Activado Abajo
253	40.56	OFF	OFF	OFF	94.88	OFF	45.08	ON	Activado Abajo
254	40.69	OFF	OFF	OFF	94.56	OFF	46.71	ON	Activado Abajo
255	40.94	OFF	OFF	OFF	93.88	OFF	45.01	ON	Activado Abajo
256	41.06	OFF	OFF	OFF	94.50	OFF	45.69	ON	Activado Abajo
257	41.31	OFF	OFF	OFF	95.88	OFF	45.08	ON	Activado Abajo
258	41.56	OFF	OFF	OFF	95.88	OFF	43.04	ON	Activado Abajo

259	41.69	OFF	OFF	OFF	95.81	OFF	42.94	ON	Activado Abajo
260	41.81	OFF	OFF	OFF	93.81	OFF	45.95	ON	Activado Abajo
261	42.06	OFF	OFF	OFF	93.75	OFF	44.86	ON	Activado Abajo
262	42.31	OFF	OFF	OFF	95.19	OFF	42.33	ON	Activado Abajo
263	42.50	OFF	OFF	OFF	95.00	OFF	47.12	ON	Activado Abajo
264	42.69	OFF	OFF	OFF	95.81	OFF	42.93	ON	Activado Abajo
265	42.87	OFF	OFF	OFF	98.25	OFF	45.38	ON	Activado Abajo
266	43.06	OFF	OFF	OFF	95.06	OFF	48.22	ON	Activado Abajo
267	43.25	OFF	OFF	OFF	95.38	OFF	42.58	ON	Activado Abajo
268	43.50	OFF	OFF	OFF	96.06	OFF	43.17	ON	Activado Abajo
269	43.69	OFF	OFF	OFF	95.38	OFF	44.50	ON	Activado Abajo
270	43.87	OFF	OFF	OFF	96.00	OFF	43.16	ON	Activado Abajo
271	44.12	OFF	OFF	OFF	93.50	OFF	48.62	ON	Activado Abajo
272	44.37	OFF	OFF	OFF	93.63	OFF	47.73	ON	Activado Abajo
273	44.62	OFF	OFF	OFF	95.75	OFF	45.88	ON	Activado Abajo
274	44.75	OFF	OFF	OFF	93.31	OFF	46.43	ON	Activado Abajo
275	44.94	OFF	OFF	OFF	95.13	OFF	50.12	ON	Activado Arriba
276	44.69	OFF	ON	OFF	95.00	OFF	47.11	ON	Activado Arriba
277	44.44	OFF	ON	OFF	95.75	OFF	45.00	ON	Activado Arriba
278	44.19	OFF	ON	OFF	93.25	OFF	43.00	ON	Activado Abajo
279	44.00	OFF	ON	OFF	93.50	OFF	43.70	ON	Activado Abajo
280	43.87	OFF	ON	OFF	92.00	OFF	45.13	ON	Activado Abajo
281	43.75	OFF	ON	OFF	95.88	OFF	43.01	ON	Activado Abajo
282	43.62	OFF	ON	OFF	93.94	OFF	44.08	ON	Activado Abajo
283	43.37	OFF	ON	OFF	92.63	OFF	45.78	ON	Activado Abajo
284	43.19	OFF	ON	OFF	96.00	OFF	43.12	ON	Activado Abajo
285	43.06	OFF	ON	OFF	92.50	OFF	45.66	ON	Activado Abajo
286	42.87	OFF	ON	OFF	96.06	OFF	43.21	ON	Activado Abajo
287	42.75	OFF	ON	OFF	93.44	OFF	44.60	ON	Activado Abajo
288	42.56	OFF	ON	OFF	93.13	OFF	44.23	ON	Activado Abajo
289	42.31	OFF	ON	OFF	93.56	OFF	43.75	ON	Activado Abajo
290	42.06	OFF	ON	OFF	92.06	OFF	45.21	ON	Activado Abajo
291	41.94	OFF	ON	OFF	94.63	OFF	48.80	ON	Activado Abajo
292	41.69	OFF	ON	OFF	96.88	OFF	43.99	ON	Activado Abajo
293	41.44	OFF	ON	OFF	93.56	OFF	45.72	ON	Activado Abajo
294	41.31	OFF	ON	OFF	93.19	OFF	45.31	ON	Activado Abajo
295	41.13	OFF	ON	OFF	94.25	OFF	45.40	ON	Activado Abajo
296	40.94	OFF	ON	OFF	95.06	OFF	42.23	ON	Activado Abajo
297	40.69	OFF	ON	OFF	93.69	OFF	44.83	ON	Activado Abajo
298	40.50	OFF	ON	OFF	93.56	OFF	45.68	ON	Activado Abajo
299	40.25	OFF	ON	OFF	93.88	OFF	41.05	ON	Activado Abajo
300	40.00	OFF	ON	OFF	93.75	OFF	44.87	ON	Activado Abajo
301	40.25	OFF	OFF	OFF	94.50	OFF	45.67	ON	Activado Abajo
302	40.44	OFF	OFF	OFF	94.06	OFF	41.20	ON	Activado Abajo
303	40.63	OFF	OFF	OFF	93.31	OFF	46.42	ON	Activado Abajo
304	40.88	OFF	OFF	OFF	95.25	OFF	42.42	ON	Activado Abajo
305	41.13	OFF	OFF	OFF	93.75	OFF	45.93	ON	Activado Abajo
306	41.38	OFF	OFF	OFF	94.75	OFF	41.90	ON	Activado Abajo
307	41.63	OFF	OFF	OFF	99.25	OFF	46.35	ON	Activado Abajo
308	41.75	OFF	OFF	OFF	97.31	OFF	44.44	ON	Activado Abajo
309	41.94	OFF	OFF	OFF	95.50	OFF	42.62	ON	Activado Abajo
310	42.13	OFF	OFF	OFF	94.50	OFF	45.62	ON	Activado Abajo
311	42.25	OFF	OFF	OFF	93.50	OFF	46.60	ON	Activado Abajo

312	42.44	OFF	OFF	OFF	93.00	OFF	45.20	ON	Activado Abajo
313	42.69	OFF	OFF	OFF	96.94	OFF	44.07	ON	Activado Abajo
314	42.81	OFF	OFF	OFF	93.13	OFF	44.27	ON	Activado Abajo
315	42.94	OFF	OFF	OFF	94.56	OFF	44.75	ON	Activado Abajo
316	43.12	OFF	OFF	OFF	96.69	OFF	43.88	ON	Activado Abajo
317	43.37	OFF	OFF	OFF	94.00	OFF	45.11	ON	Activado Abajo
318	43.56	OFF	OFF	OFF	92.06	OFF	46.22	ON	Activado Abajo
319	43.69	OFF	OFF	OFF	94.25	OFF	41.36	ON	Activado Abajo
320	43.94	OFF	OFF	OFF	94.06	OFF	45.24	ON	Activado Abajo
321	44.19	OFF	OFF	OFF	95.31	OFF	42.41	ON	Activado Abajo
322	44.44	OFF	OFF	OFF	94.56	OFF	41.76	ON	Activado Abajo
323	44.69	OFF	OFF	OFF	94.31	OFF	41.48	ON	Activado Abajo
324	44.87	OFF	OFF	OFF	96.88	OFF	44.05	ON	Activado Abajo
325	45.12	OFF	ON	OFF	94.23	OFF	52.00	ON	Activado Arriba
326	44.87	OFF	ON	OFF	99.13	OFF	46.00	ON	Activado Arriba
327	44.62	OFF	ON	OFF	94.00	OFF	45.00	ON	Activado Arriba
328	44.44	OFF	ON	OFF	94.31	OFF	43.00	ON	Activado Abajo
329	44.19	OFF	ON	OFF	97.06	OFF	44.16	ON	Activado Abajo
330	43.94	OFF	ON	OFF	95.00	OFF	42.19	ON	Activado Abajo
331	43.69	OFF	ON	OFF	96.94	OFF	44.05	ON	Activado Abajo
332	43.50	OFF	ON	OFF	95.25	OFF	42.36	ON	Activado Abajo
333	43.25	OFF	ON	OFF	93.50	OFF	44.67	ON	Activado Abajo
334	43.00	OFF	ON	OFF	93.94	OFF	45.12	ON	Activado Abajo
335	42.75	OFF	ON	OFF	94.88	OFF	47.07	ON	Activado Abajo
336	42.56	OFF	ON	OFF	95.19	OFF	42.35	ON	Activado Abajo
337	42.44	OFF	ON	OFF	94.94	OFF	47.07	ON	Activado Abajo
338	42.31	OFF	ON	OFF	98.81	OFF	45.99	ON	Activado Abajo
339	42.13	OFF	ON	OFF	94.56	OFF	41.75	ON	Activado Abajo
340	42.00	OFF	ON	OFF	94.06	OFF	46.19	ON	Activado Abajo
341	41.81	OFF	ON	OFF	96.63	OFF	43.75	ON	Activado Abajo
342	41.56	OFF	ON	OFF	94.94	OFF	47.04	ON	Activado Abajo
343	41.38	OFF	ON	OFF	93.63	OFF	46.82	ON	Activado Abajo
344	41.25	OFF	ON	OFF	95.88	OFF	42.98	ON	Activado Abajo
345	41.00	OFF	ON	OFF	94.13	OFF	41.27	ON	Activado Abajo
346	40.75	OFF	ON	OFF	93.88	OFF	41.05	ON	Activado Abajo
347	40.63	OFF	ON	OFF	95.00	OFF	47.10	ON	Activado Abajo
348	40.44	OFF	ON	OFF	93.94	OFF	41.12	ON	Activado Abajo
349	40.19	OFF	ON	OFF	96.25	OFF	43.37	ON	Activado Abajo
350	40.00	OFF	ON	OFF	95.56	OFF	42.74	ON	Activado Abajo
351	40.25	OFF	OFF	OFF	97.88	OFF	45.03	ON	Activado Abajo
352	40.50	OFF	OFF	OFF	95.00	OFF	42.12	ON	Activado Abajo
353	40.75	OFF	OFF	OFF	94.94	OFF	45.10	ON	Activado Abajo
354	40.88	OFF	OFF	OFF	94.88	OFF	46.98	ON	Activado Abajo
355	41.13	OFF	OFF	OFF	96.94	OFF	44.10	ON	Activado Abajo
356	41.38	OFF	OFF	OFF	94.38	OFF	45.53	ON	Activado Abajo
357	41.56	OFF	OFF	OFF	94.06	OFF	44.22	ON	Activado Abajo
358	41.69	OFF	OFF	OFF	93.13	OFF	46.32	ON	Activado Abajo
359	41.88	OFF	OFF	OFF	93.19	OFF	44.33	ON	Activado Abajo
360	42.13	OFF	OFF	OFF	94.63	OFF	41.80	ON	Activado Abajo
361	42.38	OFF	OFF	OFF	96.31	OFF	43.44	ON	Activado Abajo
362	42.50	OFF	OFF	OFF	93.81	OFF	46.99	ON	Activado Abajo
363	42.69	OFF	OFF	OFF	93.69	OFF	46.87	ON	Activado Abajo
364	42.87	OFF	OFF	OFF	97.94	OFF	45.13	ON	Activado Abajo

365	43.12	OFF	OFF	OFF	93.63	OFF	46.83	ON	Activado_Abajo
366	43.25	OFF	OFF	OFF	94.88	OFF	46.98	ON	Activado_Abajo
367	43.44	OFF	OFF	OFF	94.81	OFF	41.98	ON	Activado_Abajo
368	43.62	OFF	OFF	OFF	97.56	OFF	44.73	ON	Activado_Abajo
369	43.81	OFF	OFF	OFF	97.69	OFF	44.83	ON	Activado_Abajo
370	44.06	OFF	OFF	OFF	95.19	OFF	42.33	ON	Activado_Abajo
371	44.19	OFF	OFF	OFF	95.13	OFF	42.32	ON	Activado_Abajo
372	44.44	OFF	OFF	OFF	96.88	OFF	44.07	ON	Activado_Abajo
373	44.62	OFF	OFF	OFF	95.88	OFF	43.06	ON	Activado_Abajo
374	44.87	OFF	OFF	OFF	94.50	OFF	41.67	ON	Activado_Abajo
375	45.06	OFF	ON	OFF	94.00	OFF	50.11	ON	Activado_Arriba
376	44.81	OFF	ON	OFF	95.63	OFF	48.16	ON	Activado_Arriba
377	44.69	OFF	ON	OFF	96.94	OFF	43.00	ON	Activado_Abajo
378	44.44	OFF	ON	OFF	93.81	OFF	44.94	ON	Activado_Abajo
379	44.25	OFF	ON	OFF	94.25	OFF	43.41	ON	Activado_Abajo
380	44.12	OFF	ON	OFF	94.56	OFF	46.75	ON	Activado_Abajo
381	44.00	OFF	ON	OFF	93.13	OFF	43.27	ON	Activado_Abajo
382	43.81	OFF	ON	OFF	93.56	OFF	42.68	ON	Activado_Abajo
383	43.69	OFF	ON	OFF	93.25	OFF	44.37	ON	Activado_Abajo
384	43.44	OFF	ON	OFF	95.13	OFF	42.28	ON	Activado_Abajo



