

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



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

**“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL PROCESO
DE CHANCADO DEL MINERAL EN EL ÁREA DE ACOPIO Y
MOLIENDA DE LA PLANTA MARAÑON- CIA MINERA PODEROSA”**

**Área de Investigación:
CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES**

Autor(es):

Br. Castillo Luján, Frank Walter
Br. Pérez Valle, Marcelo Julio

Jurado Evaluador:

Presidente: González Cadenillas, Clayder

Secretario: Trujillo Silva, Marco

Vocal: Alva Alarcón, Jorge Luis

Asesor:

De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9207-8558>

TRUJILLO – PERÚ

2022

Fecha de sustentación:07/05/22.

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL PROCESO DE
CHANCADO DEL MINERAL EN EL ÁREA DE ACOPIO Y MOLIENDA DE
LA PLANTA MARAÑÓN- CIA MINERA PODEROSA S.A**

Elaborado Por:



Br. Frank Walter Castillo Luján

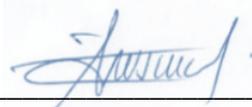


Br. Marcelo Julio Pérez Valle

Aprobado por:



Ms. Clayder González Cadenillas
PRESIDENTE
CIP N°240498



Ms. Marco Trujillo Silva
SECRETARIO
CIP N°82929



Ms. Jorge Luis Alva Alarcón
VOCAL
CIP N°214251



Ms. Oscar Miguel De La Cruz Rodríguez
ASESOR
CIP N°85598

DEDICATORIA

A Dios:

Porque me enseñó humildad con cada caída y meta lograda; mostrándome que sin él realmente no somos nada.

Gracias Dios, por la fortaleza y la guía constante durante el desarrollo y culminación de la tesis.

AGRADECIMIENTO

Con mucha gratitud, a todos los docentes ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica UPAO, que compartieron con nosotros sus conocimientos para hacer posible una de nuestras metas en nuestra vida profesional, especialmente al Ms. Ing. Oscar Miguel De La Cruz Rodríguez, por su paciencia, motivación y su valiosa guía y asesoramiento profesional; por haber inculcado en nosotros el sentido de responsabilidad y rigor académico, sin los cuales no habiéramos hecho posible este trabajo de investigación, para así obtener la titulación profesional.

Muchas gracias a todos por el apoyo que nos brindaron.

Los autores

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es realizar el diseño de un sistema automatizado para el proceso de chancado del mineral en el área de acopio y molienda de la planta Marañón- CIA minera poderosa S.A.

En principio en el trabajo se describen los aspectos del diseño de investigación y justificación del estudio, para luego presentar las bases teóricas que permita comprender el proceso de chancado del mineral. Luego de presentar los materiales y procedimientos de la investigación se procede a detallar la problemática del proceso de chancado del mineral y se muestran los resultados mediante el diagrama de flujo. A partir del análisis de la información obtenida se evalúan aspectos técnicos para proponer la automatización del proceso de chancado de mineral, a través del controlador lógico programable SIEMENS S7 1200, los sensores de presión de agua y aceite y para la programación se utilizó el software TIA PORTAL v15 a través del lenguaje Ladder, mediante trece segmentos de programación. El tipo de investigación es aplicada y el diseño es pre experimental.

Por último, a través de la propuesta presentada en el diagrama de flujo de la figura 16, y la programación en TIA Portal v15 se mejora del tiempo del proceso de chancado obteniendo una eficiencia de 92.5%.

Palabras Claves: Controlador, sensor, proceso.

ABSTRACT

The objective of this work is to carry out the design of an automated system for the ore crushing process in the storage and grinding area of the Marañón-CIA minera poder S.A. plant.

In principle, the work describes the aspects of the research design and justification of the study, and then presents the theoretical bases that allow understanding the ore crushing process. After presenting the materials and procedures of the investigation, the problem of the ore crushing process is detailed and the results are shown by means of the flow chart. From the analysis of the information obtained, technical aspects are evaluated to propose the automation of the ore crushing process, through the SIEMENS S7 1200 programmable logic controller, the water and oil pressure sensors and the TIA software was used for programming. PORTAL v15 through the Ladder language, through thirteen programming segments. The type of research is applied and the design is pre-experimental.

Finally, through the proposal presented in the flowchart of figure 16, and the programming in TIA Portal v15, the time of the crushing process is improved, obtaining an efficiency of 92.5%.

Keywords: Controller, sensor, process.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Carrera Profesional de Ingeniería Electrónica para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, se pone a vuestra disposición el presente trabajo de tesis titulado: **“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL PROCESO DE CHANCADO DEL MINERAL EN EL ÁREA DE ACOPIO Y MOLIENDA DE LA PLANTA MARAÑÓN- CIA MINERA PODEROSA S.A”**.

Esta investigación es el resultado de aplicar los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la universidad, perdonando de antemano posibles errores involuntarios en su desarrollo.

Trujillo, abril de 2022

Br. Castillo Luján, Frank Walter

Br. Pérez Valle, Marcelo Julio

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA:.....	i
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
PRESENTACIÓN.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación	1
1.2. Objetivos de la investigación	2
1.3. Justificación del estudio	3
II. MARCO DE REFERENCIA	4
2.1. Antecedentes del estudio.....	4
2.2. Marco Teórico.....	9
2.3. Marco conceptual	18
2.4. Hipótesis.....	19
2.5. Variables e indicadores	19
III. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	21
3.1. Tipo y nivel de investigación	21
3.2. Población y muestra de estudio.....	21
3.3. Diseño de investigación	22
3.4. Técnicas e instrumentos de investigación	22
3.5. Procesamiento y análisis de datos	28
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	44
V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	54

CONCLUSIONES 56
RECOMENDACIONES 57
REFERENCIAS 58
ANEXOS..... 60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de la Variable Independiente	20
Tabla 2: Operacionalización de la Variable Dependiente.....	21
Tabla 3: Cuadro comparativo del controlador.....	28
Tabla 4: Características del transmisor de presión.....	30
Tabla 5: Características del detector de agua.....	31
Tabla 6: Paradas inesperadas por mes en el proceso de chancado.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de control en lazo abierto.....	10
Figura 2: Un sistema de control en lazo cerrado.....	11
Figura 3: Diagrama de bloques de un controlador lógico programable	13
Figura 4: Tipo de señales: a) analógica, b) señal muestreada	13
Figura 5: Arquitectura interna básica de un PLC.....	14
Figura 6: Diagrama de escalera.....	18
Figura 7: Descripción del proceso de chancado.....	24
Figura 8: Etapas del proceso de chancado	25
Figura 9: Tablero eléctrico actual	27
Figura 10: Tablero eléctrico actual de la sección de chancado	27
Figura 11: Tablero metálico IP66 600x400x200MM C/PLACA.....	28
Figura 12: PLC S7-1214 AC/DC/RLY.....	29
Figura 13: HMI KTP700BASIC/COLOR	29
Figura 14: Transmisor de presión modelo: UPB3-B.....	30

Figura 15: Detector de flujo Modelo: SI6000	31
Figura 16: Diagrama de flujo propuesto del proceso de chancado	33
Figura 17: Diagrama de tiempos para la bomba	34
Figura 18: Diagrama de tiempos para los temporizadores	35
Figura 19: Diagrama de tiempos para las funciones de dependencia.....	36
Figura 20: Definición de variables en TIA Portal V15	38
Figura 21: Programación para el arranque y temporizador 1 y 2.....	39
Figura 22: Programación de los temporizadores 3,4,5,6 y 7.....	40
Figura 23: Programación de la alarma, bomba de agua y aceite.....	41
Figura 24: Programación de la faja 1,2,3 y Zaranda	42
Figura 25: Programación de la Chancadora y Zaranda	43
Figura 26: Evaluación del proceso de chancado	44
Figura 27: Diagrama de flujo del proceso de chancado	45
Figura 28: Programación en lenguaje LADDER	51
Figura 29: Paradas inesperadas al año	52
Figura 30: Tiempo de arranque del proceso.....	53

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

a. Descripción de la realidad problemática

CMPSA (CIA MINERA PODEROSA S. A), es una empresa aurífera subterránea (socavón) de mediana minería, ubicada en el distrito de Vijus, provincia de Pataz, a 320 km de la ciudad de Trujillo, con una altura promedio entre 1250 y 3000 msnm, en la región La Libertad, Perú. Con una capacidad de 980 toneladas en sus dos plantas de proceso, las cuales son la Unidad de Marañón y la Unidad de Santa María, empleando el proceso de lixiviación por agitación mediante cianuro o cianuración para la obtención de oro. (Poderosa, 2019)

En CIA MINERA PODEROSA S.A.- Planta Marañón, todos los procesos del área de acopio y molienda se encuentran centralizados en un tablero de control eléctrico que contiene arrancadores de cada uno de los motores cumpliendo una serie de enclavamientos de protección y secuencia establecida donde son controlados manualmente por el operador de turno, su tablero eléctrico convencional está constituido en base a relés y enclavamientos los cuales siguen una lógica interna de proceso.

Actualmente las condiciones del proceso son deficientes, lo que provoca un considerable retardo en el proceso debido a paradas inesperadas por la complicada ejecución del proceso en forma manual, también los equipos que se encuentran en la actualidad no son lo suficientemente adecuados y eficaces para dicho propósito. No se cuenta con un registro de arranques y paradas del circuito, no se cuenta con diagrama unifilar eléctrico de fuerza y de mando del proceso actualizados, el cableado tanto como

de fuerza cómo de mando se encuentra en mal estado. Durante las paradas de emergencia las fajas transportadoras presentan fallas continuas. No se cuenta con sensores de movimiento, los cuales ante una falla en la cadena deberían accionarse una alarma y parar los equipos. Y finalmente el tablero no cuenta con una adecuada ventilación para el enfriamiento térmico interno. Todo ello conlleva a que el proceso de chancado tarde más de lo normal.

Por tal motivo es primordial automatizar la sección de chancado, debido a que es la etapa inicial del proceso la cual abarca desde la llegada del mineral a la mina hasta la llegada al silo de finos.

b. Descripción del problema

Conforme el orden de ideas antes descrito, el presente proyecto considera una importante oportunidad de investigación en proponer una alternativa para reducir el tiempo en el proceso de chancado del mineral en el área de acopio y molienda de la Planta Marañoñ-CIA Minera Poderosa S.A, buscando con ello un aporte académico a los criterios de diseño de automatización aplicado a procesos industriales.

c. Formulación del problema

¿De qué manera se podría reducir el tiempo en el proceso de chancado del mineral en el área de acopio y molienda de la Planta Marañoñ- CIA Minera Poderosa S.A.?

1.2. Objetivos de la investigación

a. Objetivo general

Realizar el diseño de un sistema de automatización para el proceso de Chancado en CIA MINERA PODEROSA S.A.-PLANTA MARAÑOÑ

b. Objetivos específicos

- Evaluar el sistema de proceso de chancado del mineral y su operación, teniendo en cuenta las variables de proceso, sistemas de entrada y salida.
- Determinar la instrumentación requerida en la sección del proceso de chancado en CIA MINERA PODEROSA S.A.- PLANTA MARAÑÓN.
- Realizar el diseño del sistema automatizado para el proceso de chancado en CIA MINERA PODEROSA S.A.- PLANTA MARAÑÓN.

1.3. Justificación del estudio

Debido a que la operatividad de la Planta Marañón- CIA Minera Poderosa S.A. se lleva de manera manual y semiautomática el proceso de chancado del mineral en el área de acopio y molienda, existen problemas por daños a equipos mecánicos-eléctricos y tiempos de respuesta prolongados, por lo tanto, es necesario realizar un estudio para diseñar un sistema de automatización.

Implicancia Práctica: Aplicar una metodología para el diseño de un sistema automatizado para la Planta Marañón- CIA Minera Poderosa S.A., para reducir el tiempo en el proceso de chancado del mineral en el área de acopio y molienda.

En lo Tecnológico: Evaluar diferentes tecnologías que ayuden a automatizar el proceso de chancado del mineral.

Relevancia social: Evitar el estrés en los trabajadores del proceso de chancado debido a las paradas inesperadas.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

Para validar este estudio, se presentan los antecedentes de varios estudios sobre identificación de procesos encontrados en disertaciones en universidades nacionales y/o internacionales.

(Vásquez & Flores, 2021), en la tesis titulada “Propuesta de un sistema automatizado de trituración y molienda para la extracción del oro en mina la esperanza, rio san juan, utilizando tecnología PLC durante el segundo semestre del 2021”. Realizada por la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Managua. El objetivo general es proponer un sistema automatizado de trituración y molienda para la extracción de oro en Mina La Esperanza, Rio San Juan, utilizando tecnología PLC durante el segundo semestre del 2021. La metodología del presente estudio se ha realizado debido a las características que presenta el proceso de minería artesanal en Mina la Esperanza. Se presenta un sistema automatizado de trituración y molienda a los dueños de la mina para que los responsables de las operaciones mineras puedan tener una mayor eficiencia a través de un sistema controlado por el autómeta programable que garantice facilidad, agilidad y que permitan convertir los problemas que presentan actualmente en nuevas oportunidades de crecimiento y desarrollo, también se busca beneficiar a los trabajadores evitando incidentes y accidentes laborales ya que este sistema antes mencionado ayuda a que los procesos sean más rápidos, seguros y precisos.

(Ramirez, 2015), en la tesis titulada “Optimización y Mejora en la Etapa de Chancado / Aglomerado / Lixiviación en Mineral Anita LTDA”. Realizada con el apoyo de la Universidad Católica de Valparaíso, Chile. El objetivo general es aumentar la recuperación metalúrgica de cobre cambiando las etapas de trituración y coagulación. La metodología hace referencia al diseño metodológico experimental, correlacional casual. La población es de 100 kg de mineral, la muestra es de 20 kg de mineral. Las técnicas utilizadas son la observación y las guías de observación instrumental. Los resultados mostraron que en el primer día se observó un comportamiento similar entre los dos resultados, es decir, en el cuarto día la columna Anita tuvo una recuperación del 26%, mientras que la columna Fine tuvo una recuperación del 32%. Luego, después del día 16, se puede ver que la tercera columna logra una eliminación lineal máxima del 85 %, mientras que la columna de Anita aún no ha logrado su eliminación del 52 %. Se concluyó que, además de facilitar la liberación de partículas de cobre del mineral, la reducción del tamaño de partícula también incrementó la recuperación de cobre de 55% a 85% durante la etapa de lixiviación en un período de 15 días.

(Vargas, 2014) , en la tesis titulada” Optimización de la Sección de Chancado para Incrementar la Producción diaria a 700 Toneladas de Mineral Triturado en la Empresa ICM PERU “. Realizada con el apoyo de la Universidad Nacional del Callao, Perú. El objetivo general es optimizar la sección de trituración de mineral y aumentar la producción diaria de mineral triturado en ICM Perú de 450 a 700 toneladas. La metodología hace referencia a una investigación tecnológica del tipo aplicada. El conjunto está compuesto por todos los equipos de la sección de

trituration: 01 alimentadores de placas, 07 bandas transportadoras, 02 trituradoras y 02 cribas vibratorias, correspondientes a las muestras de investigación de la misma área de investigación, a saber, Población = Muestra = 12 equipos. empírica, y la herramienta de la entrevista es la observación. Los resultados no arrojaron un margen de error muy significativo, lo que, sobre todo, ayudó a optimizar la producción de la planta, que es la meta propuesta. La conclusión muestra que el cálculo y selección de los equipos mecánicos, el tamaño de la tolva de 700 TMD y el plan de mantenimiento preventivo están directamente relacionados, de manera que se incrementa la producción de mineral triturado mediante la optimización de la sección de trituración.

(Chotón Posadas & Reque Rubio, 2015) realizaron la tesis de pregrado titulada “Diseño e Implementación de un Sistema de Control Automático para el *Acuario RALFISH en la Ciudad de Trujillo* “. Realizada con el apoyo de la Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú. El objetivo general es diseñar e implementar un sistema de control automático para controlar y supervisar las condiciones adecuadas para el correcto funcionamiento del acuario “Ralfish” en la ciudad de Trujillo. La metodología de la investigación es aplicada. La población fue los acuarios del acuario “Ralfish” y la muestra fue un acuario del acuario “Ralfish”. La técnica utilizada es una encuesta y la herramienta es un cuestionario. Los resultados muestran que se reduce el margen de error entre la temperatura medida y la temperatura de consigna, además, el error obtenido es mejor que 0.05, sin embargo, cuando se aplica el sistema de control, hay un pequeño cambio en la medición del pH, el valor absoluto de la estadística "t" Mayor que "t" en la lista. La conclusión

muestra que las condiciones necesarias para el buen funcionamiento del acuario “Ralfish” son: climatización que varía entre 20 y 30 °C, pH establecido entre 6 y 8, volumen del acuario filtrado que debe ser monitoreado constantemente, entre 70 y 120 cambio entre litros.

(Túllume Agapito & Llontop Farroñay, 2016) realizaron la tesis de pregrado titulada “*Automatización e Implementación de un Sistema Scada para mejorar el desempeño del sistema de Izaje por Winches en Minería Subterránea de la Compañía Minera CASAPALCA S.A*”. Realizada con el apoyo de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, Perú. El Objetivo general mejorar el desempeño del winche de izaje de la empresa minera CASAPALCA S.A, automatizando y supervisando el sistema de izaje en todo su proceso con la finalidad de reducir las paradas no programadas y aumentado la producción. La metodología de la investigación es Tecnológica del tipo experimental. La población fue la producción mensual y reporte mensual de paradas no programadas y la muestra fue la producción mensual y reporte mensual de paradas no programadas de 3 meses. La técnica utilizada fue la encuesta y el instrumento el cuestionario. Los resultados la implementación del sistema SCADA, disminuyo el número de paradas no programadas y el control en un arranque suave redujo un 50% de su consumo actual. Las conclusiones con el nuevo sistema SCADA se logra una base de datos los cuales son almacenados y reportados a jefatura. Su producción aumentó un 50% y la recuperación de la inversión para la implementación es en un tiempo de 5 años.

(Yanque, 2016) realizaron la tesis de pregrado titulada “Control y Monitoreo de la carga de mineral en los molinos de bolas en un proceso de molienda convencional- caso Planta Concentradora de Cobre”. Realizada con el apoyo de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. El Objetivo general implementar un sistema de monitoreo y análisis del tamaño de mineral que recircula en un molino secundario en el cual se prepara el mineral a un punto tal de considerarlo óptimo para el siguiente proceso de flotación en una planta concentradora. La metodología hace referencia a una investigación tecnológica del tipo aplicada. La población fue el proceso de molienda y la muestra fue la etapa secundaria de molienda. La técnica utilizada fue la encuesta y el instrumento el cuestionario. Los resultados basados en el reconocimiento de imágenes y la mezcla de algoritmos de procesamiento de imágenes, la imagen puede contener más de una roca donde a la vez, un algoritmo decidí si una roca grande está presente o no. Conjuntamente se implementamos mecanismos para evitar falsas alarmas debido a agrupación de rocas. Las conclusiones es que los programas de procesamiento de imágenes facilitan la tarea de medición de parámetros realizando una observación artificial obteniendo data que no es posible con sensores convencionales.

Y que el sistema presentado como tesis puede ser complementado con otros programas a fin de tener un mejor control automático.

2.2. Marco Teórico

Proceso general del Oro

“El sistema de optimización operativa para la planta de procesamiento de minerales genera los puntos de ajuste para el sistema de control de procesos haciendo los índices operativos (por ejemplo: calidad, eficiencia y consumos durante la fase de producción), lo más cerca posible a sus objetivos. Mientras las salidas del proceso controlen un sistema de seguimiento de sus puntos de ajuste renovados, el óptimo funcionamiento” (Chai, 2014)

Sistemas de Control

De hecho,” es aquel en el que la salida del sistema se controla para tener un valor específico o cambiarlo, según lo determina la entrada del sistema. (Bolton, Ingeniería de Control, 2006, pág. 3)

Sistema de control en lazo abierto

La entrada se elige con base en la experiencia que se tiene con dichos sistemas para producir el valor de la salida requerido; sin embargo, esta salida no es modificada por el cambio en las condiciones de operaciones externas.

- **Elemento de control;** este elemento determina que acción se va a tomar para una entrada al sistema de control.
- **Elemento de corrección;** este elemento responde a la entrada que viene del elemento de control e inicia la acción para producir el cambio en la variable controlada al valor requerido.
- **Proceso;** el proceso o planta es el sistema en el que se va a controlar la variable.

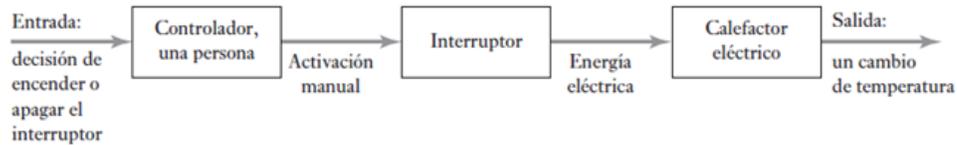


Figura 1: Sistema de control en lazo abierto

Fuente: (Ogata K. , 2010)

Sistema de control de lazo cerrado

Se tiene una señal de realimentación hacia la entrada desde la salida, la cual se utiliza para modificar la entrada de modo que la salida se mantenga constante a pesar de los cambios en las condiciones de operación

- **Elemento de comparación;** este elemento compara el valor deseado o de referencia de la variable a controlar con el valor medido obtenido en la salida y produce una señal de error indicando la diferencia entre el valor obtenido en la salida y el valor deseado.
- **Elemento de control;** este elemento determina qué acción tomar cuando se recibe una señal de error. El término controlador se usa generalmente para un elemento que incluye un elemento de control y una unidad de corrección.
Señal de error = señal del valor de referencia - señal del valor medio
- **Elemento de corrección;** este elemento se utiliza para producir cambios en el proceso de error de alimentación y se suele denominar actuador.
- **Elemento de proceso;** el proceso, o planta es el sistema donde se va a controlar la variable.

- **Elemento de medición;** este elemento produce una señal relacionada con la condición de la variable controlada, y proporciona la señal de realimentación al elemento de comparación de determinar si hay o no error.

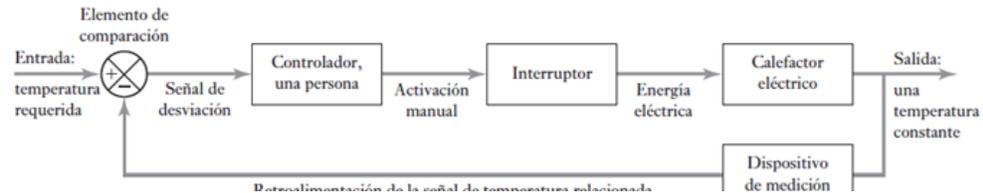


Figura 2: Un sistema de control en lazo cerrado

Fuente: (Ogata K. , 2010)

Controladores

De hecho, “es un elemento en el sistema en el lazo cerrado que tiene como entrada la señal de error y produce una salida que se convierte en la entrada al elemento correctivo” (Bolton, Ingeniería de Control, 2006, pág. 239)

- **Control Proporcional;** con el control proporcional la salida del controlador es directamente proporcional a su entrada, la entrada es la señal de error, determina la reacción del error actual.
- **Control Integral;** con el control integral la salida del controlador es proporcional a la integral de la señal de error, genera una corrección proporcional, el objetivo de es lograr que el error estacionario se reduzca a cero.
- **Control derivativo;** con la forma derivativa del controlador, la salida del controlador es proporcional a la razón de cambio con el tiempo del error, es decir que de este modo puede proporcionar una acción correctiva grande antes de que se presente un error grande en realidad.

- **Control PID; el controlador integral derivativo (PID)**, mejor conocido como controlador de los tres términos con un sistema que dará una salida para una entrada de error, calcula la desviación o error entre el valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajusta el proceso.

Controlador lógico programable

De hecho “es un dispositivo electrónico digital que usa una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas, de secuencia, de sincronización, de conteo y aritméticas para controlar máquinas, procesos y diseños específicamente para programarse con facilidad” (Ogata K. , 2010, pág. 467)

Componentes

La estructura básica de un autómata programable está conformada por los siguientes componentes:

- **Unidad procesadora o Unidad central de procesamiento (CPU)**; esta unidad contiene el microprocesador, el cual interpreta las señales de entrada y ejecuta las acciones de control de acuerdo al programa almacenado en la memoria, luego comunica las ordenes hacia la interfaz de salida.
- **Fuente de poder**; este elemento es necesario para convertir el voltaje AC de entrada a voltaje DC (5V) de baja amplitud, necesario para alimentar el procesador y los módulos de interfaz de salida.
- **Unidad de memoria**; en la cual están almacenadas las acciones de control que serán ejecutadas por el microprocesador, en esta unidad también se almacenan los datos de las interfaces de entrada y salida.

- **Interfaces de entrada y salidas;** en esta sección el procesador recibe la información de los dispositivos externos (detectores, sensores, transmisores) y comunica la información desde el CPU hacia los dispositivos externos (pilotos, relés, etc.). Las entradas y salidas pueden ser clasificadas de acuerdo al tipo de señal que manejan, dichas señales pueden ser discretas, digitales o análogas.
- **Interfaz de comunicación;** la cual es utilizada para recibir y transmitir datos dentro de redes de comunicación con otros dispositivos.

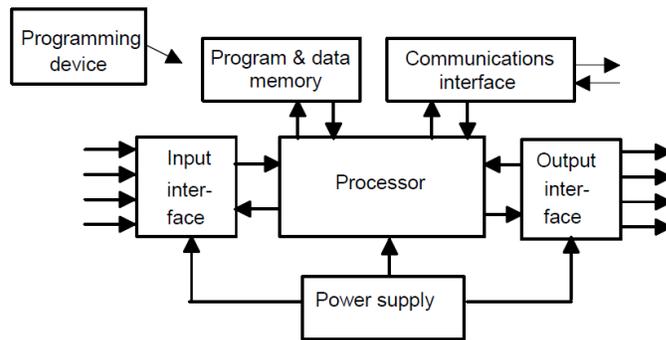


Figura 3: Diagrama de bloques de un controlador lógico programable

Fuente: (Dorf & Bishop, 2005)

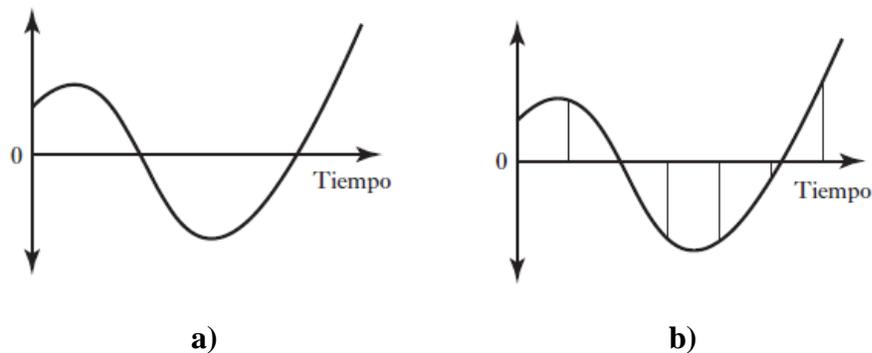


Figura 4: Tipo de señales: a) analógica, b) señal muestreada

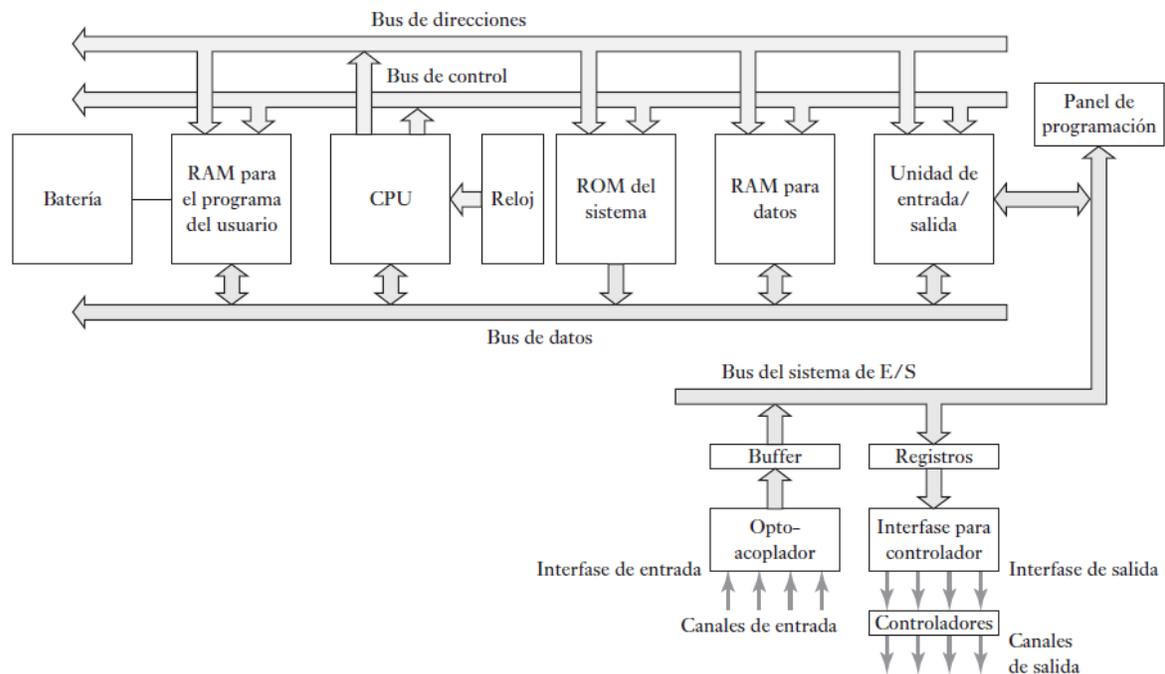
Fuente: (Dorf & Bishop, 2005)

Arquitectura interna

De hecho “cuenta con un temporizador cuya frecuencia típica es entre 1 y 8 MHz. Esta frecuencia determina la velocidad de operación del PLC y la fuente de temporización y sincronización de todos los elementos del sistema. Un sistema de buses lleva información de datos desde y hacia la CPU, la memoria y las unidades de entrada/salida (ver figura N°7).

Los elementos de la memoria son:

- **ROM;** para guardar en forma permanente la información del sistema operativo y datos corregidos.
- **RAM;** para el programa del usuario y memoria buffer temporal para los canales de entrada / salida.



Fuente: (Ogata K. , 2010)

Figura 5: Arquitectura interna básica de un PLC

La CPU

La estructura interna de la CPU, depende del microprocesador en cuestión, en general tienen lo siguiente:

- **Unidad aritmética lógica (ALU);** es responsable de la manipulación de datos y llevar a cabo operaciones aritméticas (adición, sustracción) y lógicas (AND, OR, NOT, XOR).
- **Memoria;** denominada también registro, está localizada dentro del procesador y es utilizada para almacenar la información involucrada en la ejecución del programa.
- **Unidad de control;** es utilizada en el control de sincronización de las operaciones.

Los buses

Los buses son los caminos utilizados para la comunicación dentro del PLC. La información se transmite en forma binaria. Como un grupo de bits con un bit que es un dígito binario de 1 o 0, los estados de encendido / apagado. El término palabra se usa para el grupo de bits que constituye alguna información. Por lo tanto, una palabra de 8 bits podría ser el número binario 00100110. Cada uno de los bits se comunica simultáneamente a través de su propio cable paralelo. El sistema tiene cuatro buses:

- **Bus de datos;** el bus de datos transporta los datos utilizados en el procesamiento realizado por la CPU.
- **Bus de direcciones;** se utiliza para transportar las direcciones de las ubicaciones de memoria, para que cada palabra pueda ubicarse en la memoria, a cada ubicación de la memoria se le asigna una dirección única.

- **Bus de control;** transporta las señales utilizadas por la CPU para controlar e informar a los dispositivos de memoria si deben recibir datos de una entrada o datos de salida y para transmitir señales de temporización utilizadas para sincronizar acciones
- **Bus de sistema;** es utilizado para comunicaciones entre la unidad de entradas y salidas y los puertos de entrada y salida.

Memoria

Hay varios elementos de memoria en un sistema PLC:

- **ROM de sistema;** se encarga de almacenar de forma permanente el sistema de operativo y los datos fijos utilizados por el CPU.
- **RAM de usuario;** utilizada para almacenar la aplicación del usuario.
- **RAM de datos;** es utilizada para almacenar datos, provenientes de los sistemas de entrada y salida (temporizadores, contadores y otros dispositivos).

La capacidad de almacenamiento de una memoria es determinada por el número de palabras binarias que pueda almacenar (bloque de bits). El tamaño de la memoria se representa en el número de registros de almacenamiento disponibles, donde la unidad básica es 1 Kb,

Representa el número 2^{10} , el cual es a 1024. Los fabricantes de circuito integrados de memoria agrupan los dispositivos en formatos de 1, 4 y 8 bits.

Unidad de entradas y salidas

Otorga a la interfaz entre el sistema y el mundo exterior, lo que permite que las conexiones se realicen a través de los canales de entrada / salida a los dispositivos de entrada.

- **Discreta;** Señales de tipo encendido o apagado.
- **Analógicas;** señales proporcionales a la magnitud de la variable que se está midiendo.
- **Digitales;** señales en forma de secuencia de pulsos.

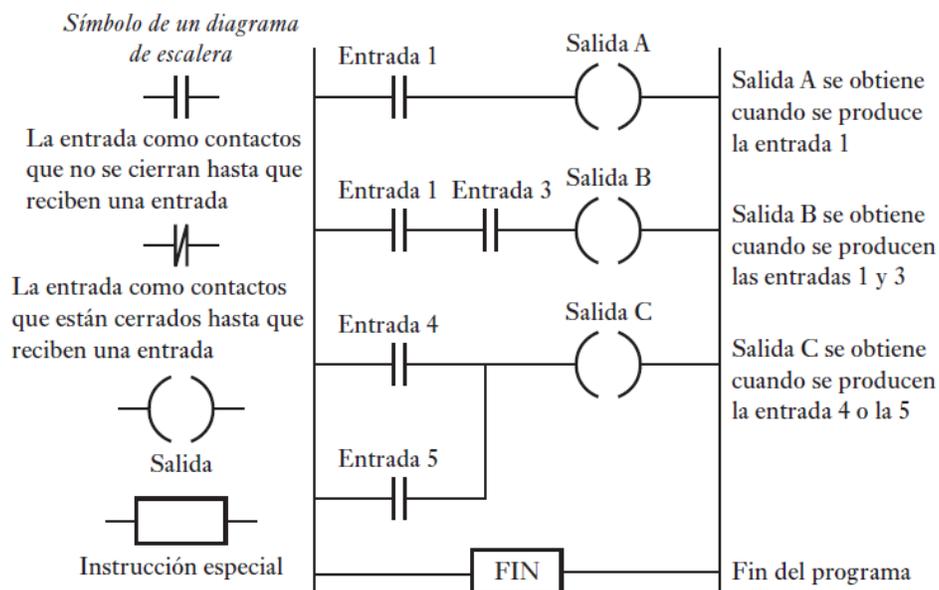
Programa en el PLC

Los dispositivos de programación pueden ser un dispositivo de mano, una consola de escritorio o una computadora. Solo cuando el programa ha sido diseñado en el dispositivo de programación y está listo, se transfiere a la unidad de memoria del PLC. La norma IEC 61131 -3, publicada por la International Electro Technical Corporation, define 5 lenguajes como los estándares para programación:

- Lista de instrucciones
- Diagrama de tiempos del proceso
- Diagrama de escalera
- Diagrama de flujo
- Diagrama de funciones secuenciales

El diagrama escalera de hecho, “Implica escribir programas de manera similar a dibujar circuitos de contactos eléctricos. El diagrama de escalera tiene dos líneas verticales que representan las líneas eléctricas. El circuito está conectado como una línea horizontal entre

estas dos líneas verticales, los peldaños de una escalera” (ver figura N°8) (Ogata K. , 2010, pág. 473)



Fuente: (Bolton, Ingeniería de Control, 2006)

Figura 6: Diagrama de escalera

2.3. Marco conceptual

Se definen conceptualmente los principales términos que serán utilizados en la investigación:

Lixiviación

De hecho, “La lixiviación lo definen, tratar una sustancia compleja, como mineral, con un disolvente adecuado para separar sus partes solubles de las insolubles”

Minería

De hecho, “La minería es una actividad que consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre, lo cual, es muchos casos,

implica la extracción física de grandes cantidades de materiales de la misma, para recuperar solo pequeños volúmenes del producto”

Cianuración

De hecho, “La cianuración es un tratamiento de minerales que utiliza la propiedad del oro y de la plata de disolverse en soluciones diluidas de cianuro de sodio o de potas”

Molienda

De hecho, “La molienda, es una operación unitaria que a pesar de ser solo una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza es de suma importancia en diversos procesos industriales, ya que el tamaño de la partícula.

2.4. Hipótesis

El diseño de un sistema automatizado permitirá reducir pérdidas de producto y tiempo en el proceso de chancado del mineral en el área de acopio y molienda de la Planta Marañón-CIA Minera Poderosa S.A.

2.5. Variables e indicadores

Variable independiente: Diseño de un sistema de automatización

Definición Conceptual

Es la planificación y creación de un sistema que permita controlar los procesos industriales, eliminar la mano de obra pasiva y aumentar la productividad. Proporciona mecanismos autónomos o semiautónomos para que los operadores humanos los ayuden a expandir sus capacidades físicas al realizar tareas familiares de manera más eficiente y segura.

Indicadores

- Rango de operación del proceso
- Duración del ciclo de operación

Variable dependiente: Proceso de la sección de chancado del mineral en el área de acopio y molienda.

Definición Conceptual

Consiste en el funcionamiento de un proceso que opera con la mínima e incluso sin la intervención del ser humano.

Indicadores

- Etapas de control
- Simulación del proceso.

Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de la Variable Independiente

Variable Independiente	Definición Operacional	Indicadores	Instrumento	Unidad de medida
Diseño de un sistema de automatización	Se realiza la propuesta mediante la recolección y análisis de datos, acorde a las necesidades que están involucradas en el proceso.	Rango de operación del proceso. Nro de controladores Nro de sensores y actuadores	Reporte de diseño	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2

Operacionalización de la Variable Dependiente

Variable dependiente	Definición Operacional	Indicadores	Instrumento	Unidad de medida
Automatización de la sección de chancado para disminución del tiempo de proceso en el área de acopio y molienda.	Mediante la lectura de los instrumentos de campo, se realiza el proceso de control por parte del controlador lógico programable de las variables asociadas al proceso.	-Nro de variables a controlar -Tiempo de duración del proceso de chancado.	Reporte de simulación	segundo

Fuente: Elaboración propia

III. METODOLOGÍA EMPLEADA**3.1. Tipo y nivel de investigación****Tipo de investigación**

Aplicada: A partir de conocimientos establecidos se dará solución a un problema planteado

Nivel de investigación

Explicativo

3.2. Población y muestra de estudio**Población:**

La población está constituida por la Planta Marañón- CIA MINERA PODEROSA S.A.

Muestra:

Área del proceso de la sección de chancado

3.3. Diseño de investigación

Leyenda:

G: Compañía minera poderosa S.A.

O1: Tiempo actual del proceso de la sección de chancado del mineral en el área de acopio y molienda.

X: Sistema de automatización

O2: Reducción del tiempo en el proceso de chancado del mineral en el área de acopio y molienda.

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

En el presente trabajo, la técnica es la observación la cual nos permitirá ver el estado actual del proceso y a la vez adquirir datos para plasmarlos en nuestra interface HMI (Human Machine Interface) donde nuestras variables son: temperatura, presión, y tiempo de ciclo de operación del proceso. Para ello el HMI permitirá observar su escala de comportamiento mediante gráficos y/o descripciones.

Además, utilizar la entrevista personal y el instrumento de guía de entrevista que permitirá recoger algunos datos del ingeniero encargado del proyecto con respeto a la operación básica

actual del proceso de chancado, esto permitirá tomar algunas consideraciones al momento de adquisición de datos.

Este instrumento contiene las características más resaltantes de los equipos utilizados para la toma de muestra y recopilación de datos.

Cuadros estadísticos:

Contendrán datos estadísticos de los niveles de funcionamiento del proceso actual y con sistema de control, realizando así una comparación para ver si los resultados son óptimos.

Guía de observación:

Este instrumento contiene todos los datos que se necesitan recopilar en la vista de la Planta de chancado de CIA MINERA PODEROSA S.A.- MARAÑÓN, como, por ejemplo: están activos todas las fajas durante el proceso de chancado, si cuentan con sensores en cada faja, su sistema de control actual cuenta con sistema de red industrial, entre otros. Todos estos datos son importantes al momento de la supervisión.

A continuación, se presenta la filosofía de trabajo.

por el alimentador de placas N°1 (Apron Feeder), de allí el mineral de las dos tolvas se junta y son derivados a la Zaranda Vibratoria (Grizzly), las partículas gruesas son dirigidas a la chancadora de quijadas 16x24 ,el mineral ya chancado cae hacia la faja transportadora N°01 junto con el producto fino de la Zaranda Vibratoria Grizzly, aquí el mineral pasa por un electroimán donde todo material ferroso será atrapado, luego de esto pasara por el detector de metales N°1 , para luego ser descargado en la Zaranda Vibratoria de dos pisos 6' X 16', donde el mineral será separado lo grueso de lo delgado, lo delgado es llevado hacia la faja transportadora N° 03 para luego ser almacenado en el Silo de finos con capacidad de 1200TON, si el mineral es aún grueso caerá a la chancadora Symons de la cual una vez chancado es dirigido a la faja trasportadora N°2 para luego ser depositado en la faja N°1 que nuevamente retornara a la zaranda y después a la chancadora Symons formándose un circuito cerrado en donde se debe verificar que no haya elementos extraños que dañen la chancadora para su respectivo chancado.

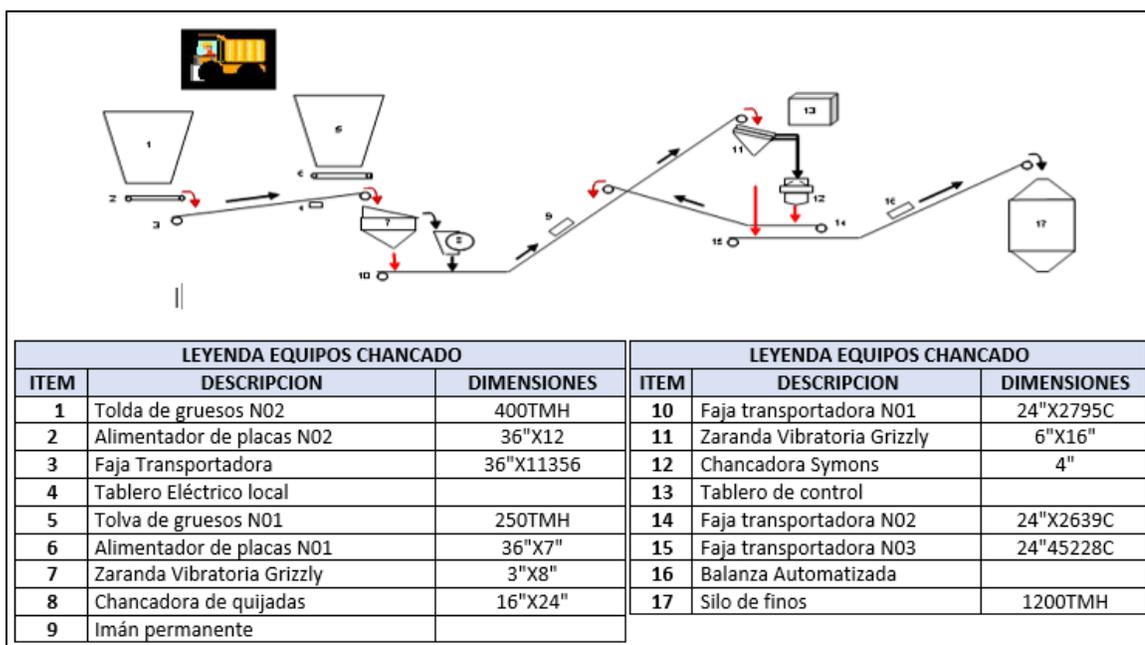


Figura 8: Etapas del proceso de chancado

Fuente: Elaboración propia

El tablero eléctrico actual es el lugar donde se encuentran centralizados todos los arrancadores de cada uno de los motores cumpliendo una serie de enclavamientos de protección y secuencia establecida.

Es un tablero eléctrico convencional constituido por relés y enclavamientos que conforman la lógica de automatización en nuestro proceso (Figura N°9)

El tablero eléctrico es un tablero convencional que está constituido básicamente de equipos electromagnéticos, los cuáles se indican a continuación:

- Interruptores Termomagnéticos
- Contactores
- Relés de Protección de Sobrecarga
- Relés Auxiliares
- Fusibles
- Temporizadores
- Pulsadores
- Selectores
- Lámparas de señalización

Los Tableros Eléctricos están conformados por lo siguiente: (Figura N°10)

- Un Tablero Eléctrico con arrancador por autotransformador de 440 voltios para el motor de la Chancadora Symons de 150 HP de la cual su circuito de mando es de 110 voltios.
- Un Tablero Eléctrico de dos cuerpos de 460 Voltios, en el cual se encuentran el resto de los arrancadores de los motores restantes, posee un circuito de mando en 220 voltios para controlar bombas de potencia de 5,3,20,18,20,7.5,4,8,12,3 HP.

- Un tablero eléctrico de distribución para los circuitos auxiliares de 220 voltios para iluminación y circuito de mando la Chancadora Symons.
- Un tablero eléctrico al costado izquierdo de los arrancadores del Supresor de Polvos de 3HP y 220v.



Figura 9: *Tablero eléctrico actual*

Fuente: Elaboración propia



Figura 10: *Tablero eléctrico actual de la sección de chancado*

Fuente: Elaboración propia

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Se utilizará un tablero metálico IP66 para la etapa de control. (ver figura 11)



Figura 11: Tablero metálico IP66 600x400x200MM C/PLACA

Fuente: Elaboración propia

Se utilizará un PLC S7-1200 + HMI KTP 700BASIC

Tabla 3

Cuadro comparativo del controlador

Características	Siemens	Rockwell
CPU	1200-CPU 1214 AC/DC/RLY	Micro800
Memoria de Programa	50 KB	20kB
Grado de protección	IP 20	IP65
Tipo de alimentación	AC	DC
Disponibilidad en el medio	si	si
Lazos PID	12	Sin especificar
Auto sintonía para PID	Si	No

Fuente: Elaboración propia

Justificación:

Por el tipo de alimentación seleccionamos el PLC de la marca Siemens, ya que el otro necesitaría una fuente externa.



Figura 12: *PLC S7-1214 AC/DC/RLY*

Fuente: <https://w5.siemens.com>



Figura 13: *HMI KTP700BASIC/COLOR*

Fuente: <https://w5.siemens.com>

Se utilizará un sensor de presión de aceite (0 – 7bar)



Figura 14: Transmisor de presión modelo: UPB3-B

Fuente: spanish.alibaba.com

Tabla 4

Características del transmisor de presión

Medio de presión	Gas o líquido, sonda de cerámica y acero inoxidable
Rangos de presión	0 ~ 7bar...2200bar
Tensión de alimentación	8~ 30 VDC
Corriente de salida	4 – 20mA
Compensado Rango de temperatura	-40~125 °C
Rango de temperatura de funcionamiento	-20~80 °C
Rango de temperatura de almacenamiento	-40~125°C
Grado de protección	IP 67

Fuente: Elaboración propia

Se utilizará un detector de agua (tipo electrodo)



Figura 15: Detector de flujo Modelo: SI6000

Fuente: <https://www.ifm.com/es/es/product/SI6000>

Tabla 5

Características del detector de flujo

Servicio:	Líquidos conductores, compatible con materiales mojados.
Materiales mojados:	Extremo de sonda: acero inoxidable 430; aislante: cerámico; conector: hierro chapado con níquel; sello: silicona.
Voltaje de operación	(19 – 36V _{DC})
Tiempo de respuesta	10s
Límites de temperatura:	(-25 - 95 °C).
Límite de presión:	30 bar
Grado de protección	IP 67, IP 69K

Fuente: Elaboración propia

3.5.1. Diagrama de flujo propuesto.

Como el proceso de chancado es un proceso tipo batch inicia de la siguiente manera.

- a) Se activa la alarma por 10 segundos
- b) Activación de la bomba de agua para enfriar el aceite
- c) Prender la bomba de aceite si la presión del agua es la correcta
- d) Si no hay agua en la tubería de recirculación para el proceso
- e) Arrancar la chancadora simons
- f) 5 segundos después arrancar la faja 3
- g) Luego de 5 segundos arrancar la zaranda vibratoria denver
- h) Con retardos de 5 segundos de arranque secuencial se activan faja 1, faja 2, chancadora primaria de quijada
- i) 10 segundos después se arranca la zaranda grizzli
- j) Se asigna el tiempo de los alimentadores
- k) Activar los alimentadores

El diagrama de flujo de este proceso se presenta en la siguiente figura.

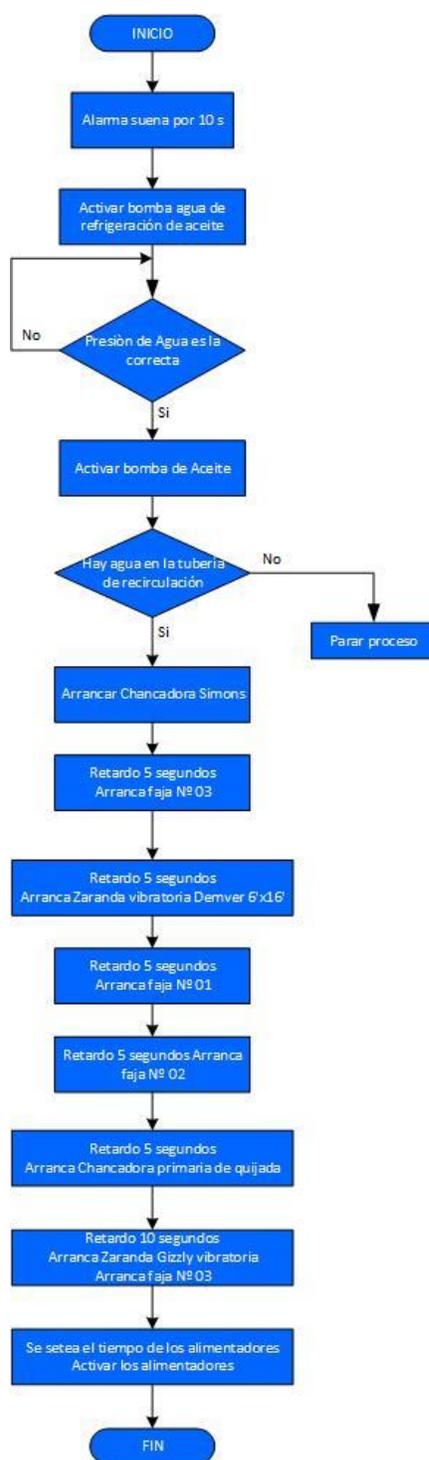


Figura 16: Diagrama de flujo propuesto del proceso de chancado

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Diagrama de tiempos propuesto

En la figura 17 se muestran los diagramas de tiempo para el arranque secuencial de la bomba de agua, bomba de aceite, chancadora simons, fajas 1,2,3, zaranda vibratoria, chancadora primaria, zaranda Grizzly, faja 0 y alimentadores.

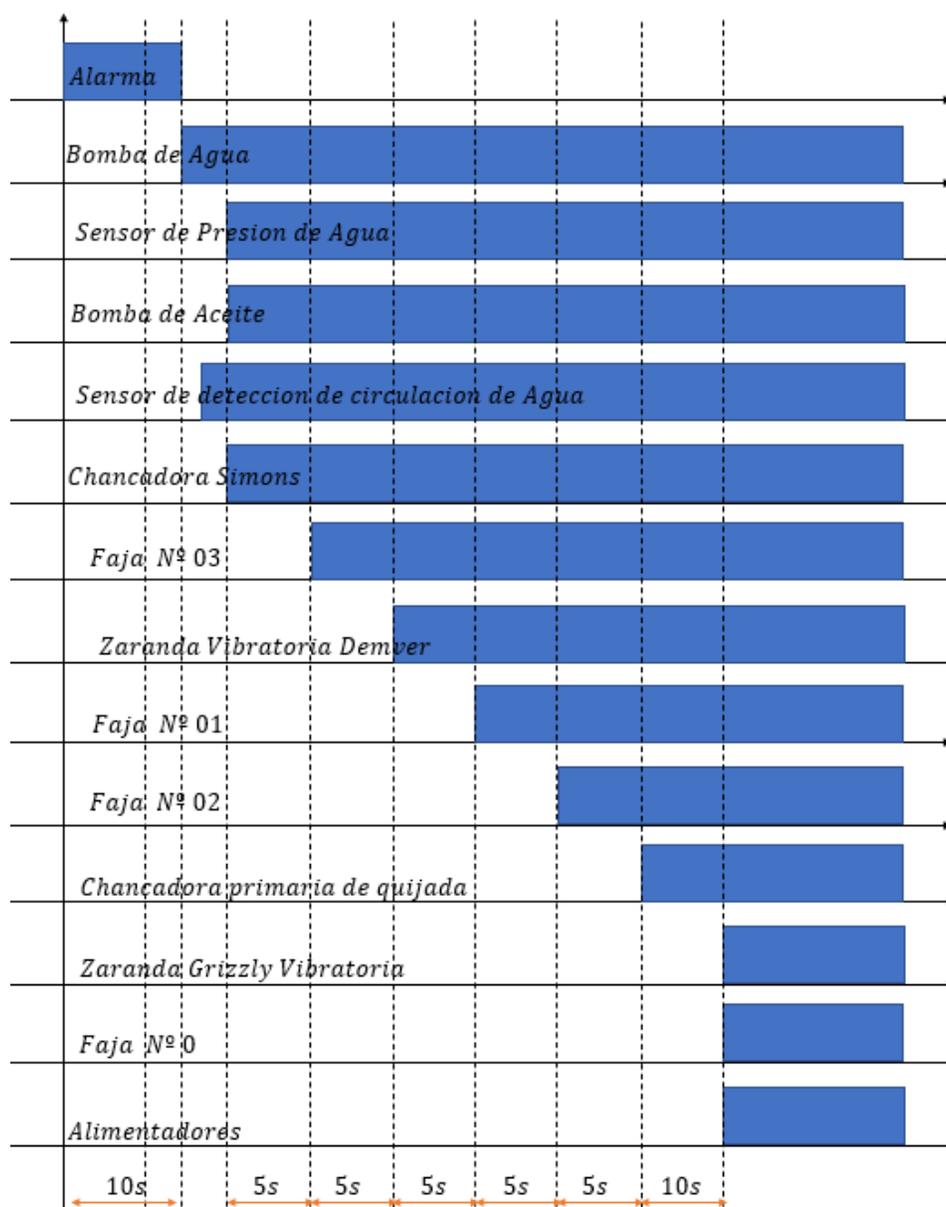


Figura 17: Diagrama de tiempos para la bomba

Fuente: Elaboración propia

En la figura 18 se muestra cómo se activan los 7 temporizadores en función de los sensores de presión de agua y aceite.

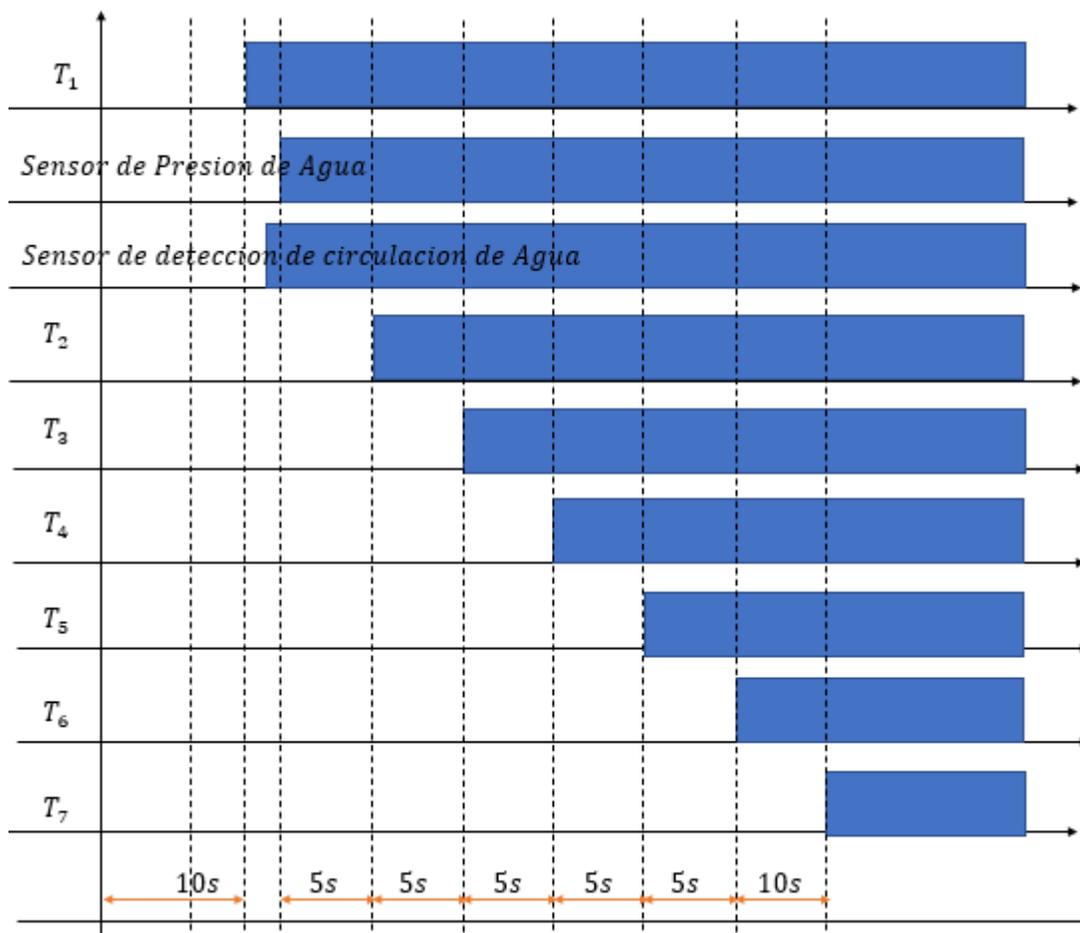


Figura 18: Diagrama de tiempos para los temporizadores

Fuente: Elaboración propia

En la figura 19 se muestran las funciones de dependencia de:

Alarma, bomba de agua, bomba de aceite, chancadora Simons, faja N°03, zaranda vibratoria, faja N°01 y N°02, chancadora primaria, faja N°0 y alimentadores.

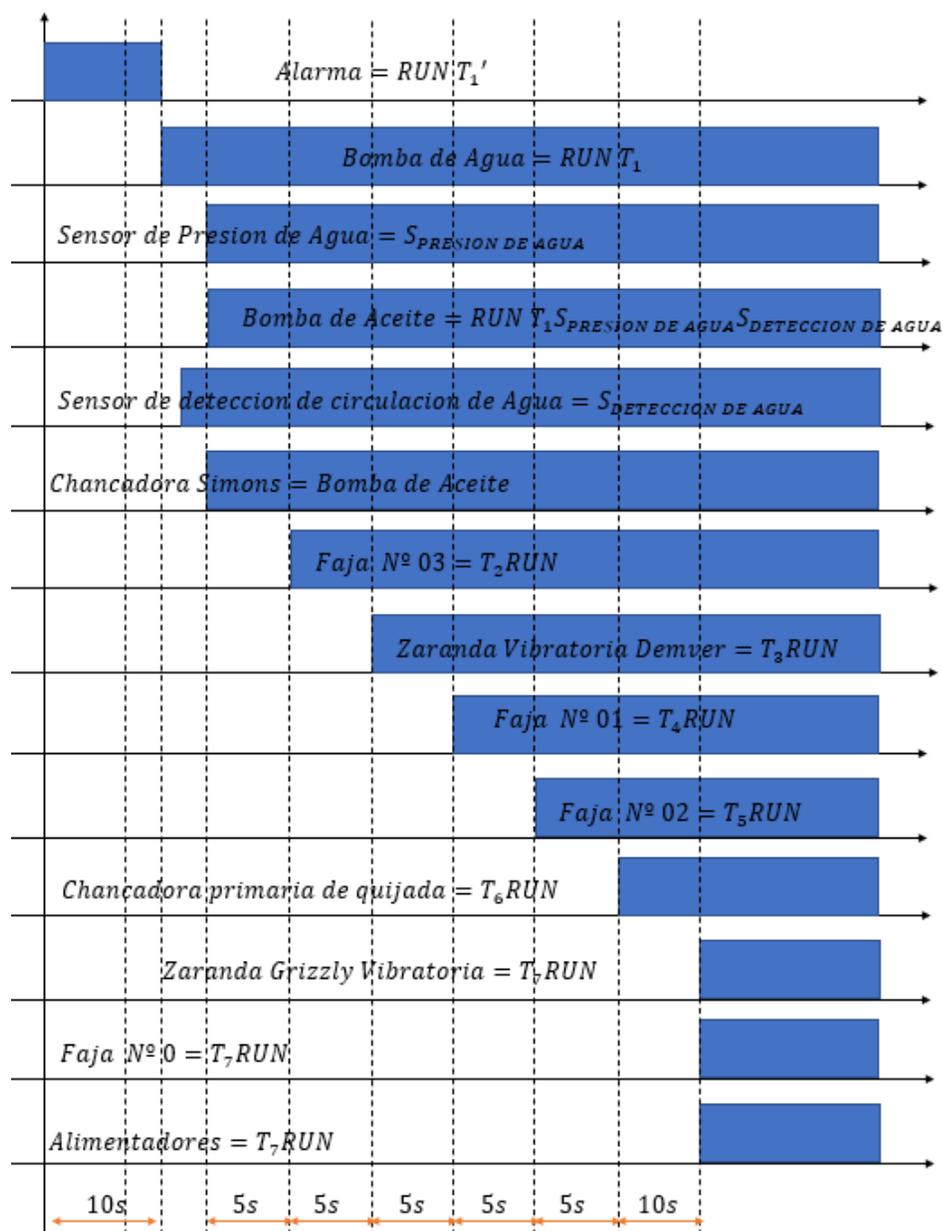


Figura 19: Diagrama de tiempos para las funciones de dependencia

Fuente: Elaboración propia

De los diagramas de tiempos mostrados en las figuras 17,18 y 19, se presentan las siguientes ecuaciones a implementar:

$$RUN = (RUN + START)STOP'$$

$$T_{1IN} = RUN$$

$$T_{2IN} = RUN T_1 S_{PRESION DE AGUA} S_{DETECCION DE AGUA}$$

$$T_{3IN} = T_2$$

$$T_{4IN} = T_3$$

$$T_{5IN} = T_4$$

$$T_{6IN} = T_5$$

$$T_{7IN} = T_6$$

$$Alarma = RUN T_1'$$

$$Bomba de Agua = RUN T_1$$

$$Sensor de Presion de Agua = S_{PRESION DE AGUA}$$

$$Bomba de Aceite = RUN T_1 S_{PRESION DE AGUA} S_{DETECCION DE AGUA}$$

$$Sensor de deteccion de circulacion de Agua = S_{DETECCION DE AGUA}$$

$$Chancadora Simons = Bomba de Aceite$$

$$Faja N° 03 = T_2 RUN$$

$$Zaranda Vibratoria Demver = T_3 RUN$$

$$Faja N° 01 = T_4 RUN$$

$$Faja N° 02 = T_5 RUN$$

$$Chancadora primaria de quijada = T_6 RUN$$

$$Zaranda Grizzly Vibratoria = T_7 RUN$$

Faja N° 0 = T₇RUN

Alimentadores = T₇RUN

3.5.3. Programación en TIA PORTAL

Para iniciar la programación del sistema de chancado se tiene que definir las variables a usar en TIA Portal, como todas ellas son de tipo Booleano y en un total de 24, se usaran 3 Bytes haciendo un total de 24 bits, esto se realizará desde la posición de memoria 10 hasta la 12. Esto se muestra en la siguiente figura 20.

Variables PLC				
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección
1	START	Tabla de variables e..	Bool	%M10.0
2	STOP	Tabla de variables e..	Bool	%M10.1
3	T1	Tabla de variables e..	Bool	%M10.2
4	T2	Tabla de variables e..	Bool	%M10.3
5	T3	Tabla de variables e..	Bool	%M10.4
6	T4	Tabla de variables e..	Bool	%M10.5
7	T5	Tabla de variables e..	Bool	%M10.6
8	T6	Tabla de variables e..	Bool	%M10.7
9	T7	Tabla de variables e..	Bool	%M11.0
10	SENSOR DE PRESION	Tabla de variables e..	Bool	%M11.1
11	SENSOR DE AGUA	Tabla de variables e..	Bool	%M11.2
12	BOMBA DE ACEITE	Tabla de variables e..	Bool	%M11.3
13	BOMBA DE AGUA	Tabla de variables e..	Bool	%M11.4
14	ALARMA	Tabla de variables e..	Bool	%M11.5
15	CHANCADORA SYMONS	Tabla de variables e..	Bool	%M11.6
16	FAJA 3	Tabla de variables e..	Bool	%M11.7
17	ZARANDA DEMVER	Tabla de variables e..	Bool	%M12.0
18	FAJA 1	Tabla de variables e..	Bool	%M12.1
19	FAJA 2	Tabla de variables e..	Bool	%M12.2
20	CHANCADORA PRIMARIA	Tabla de variables e..	Bool	%M12.3
21	ZARANDA GRIZZLY	Tabla de variables e..	Bool	%M12.4
22	FAJA 0	Tabla de variables e..	Bool	%M12.5
23	RUN	Tabla de variables e..	Bool	%M12.6
24	ALIMENTADORES	Tabla de variables e..	Bool	%M12.7

Figura 20: Definición de variables en TIA Portal V15

Fuente: Elaboración propia

Luego de establecer la definición de las variables a utilizar para la programación en TIA Porta, en la figura 21 se muestra la programación para el arranque y los temporizadores 1,2.

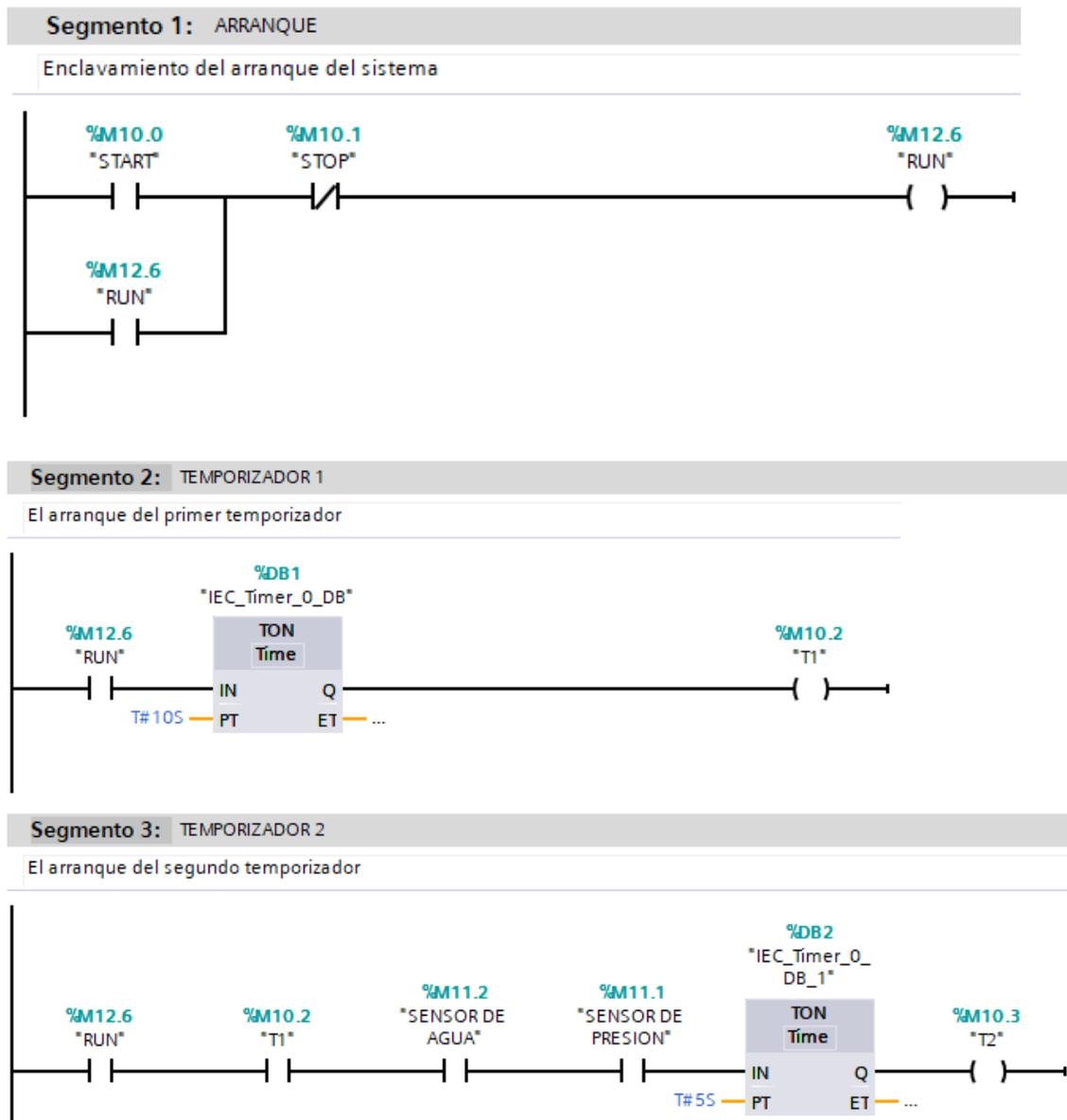


Figura 21: Programación para el arranque y temporizador 1 y 2

Fuente: Elaboración propia

En la figura 22 se muestra el diagrama de arranque de los temporizadores 3,4,5,6, y7 en forma secuencial.

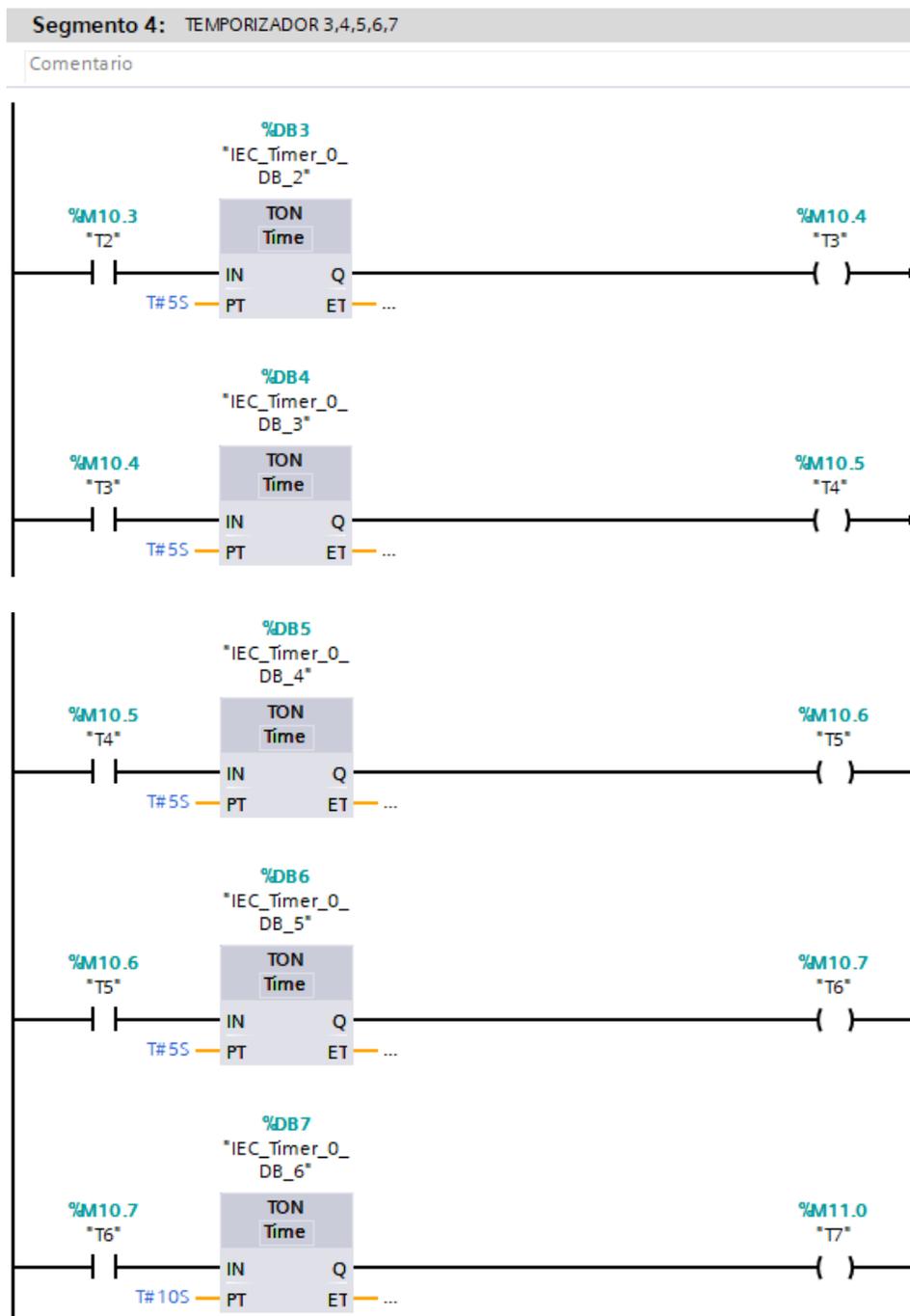


Figura 22: Programación de los temporizadores 3,4,5,6 y 7

Fuente: Elaboración propia

En la figura 23 se muestra como la alarma, la bomba de agua y la bomba de aceite y la chancadora simons dependen del temporizador 1.

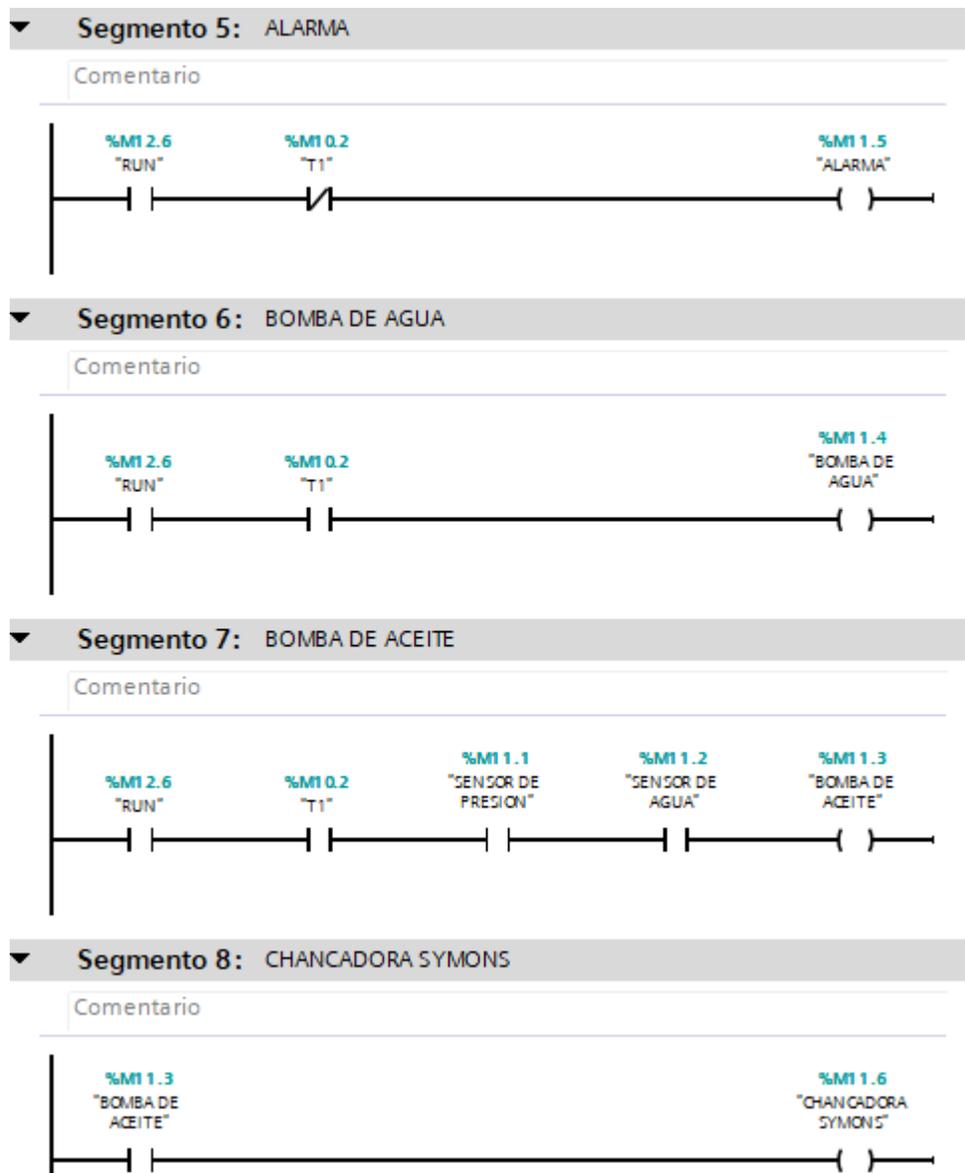


Figura 23: Programación de la alarma, bomba de agua y aceite

Fuente: Elaboración propia

En el segmento 9 se muestra que la faja 3 depende del temporizador 3

En el segmento 10 se muestra la dependencia de la zaranda Demver del temporizador 3

En el segmento 11 se evidencia la dependencia de las fajas 1 y 2 de los temporizadores 4 y 5 respectivamente.

Esto se evidencia en la siguiente figura 24.

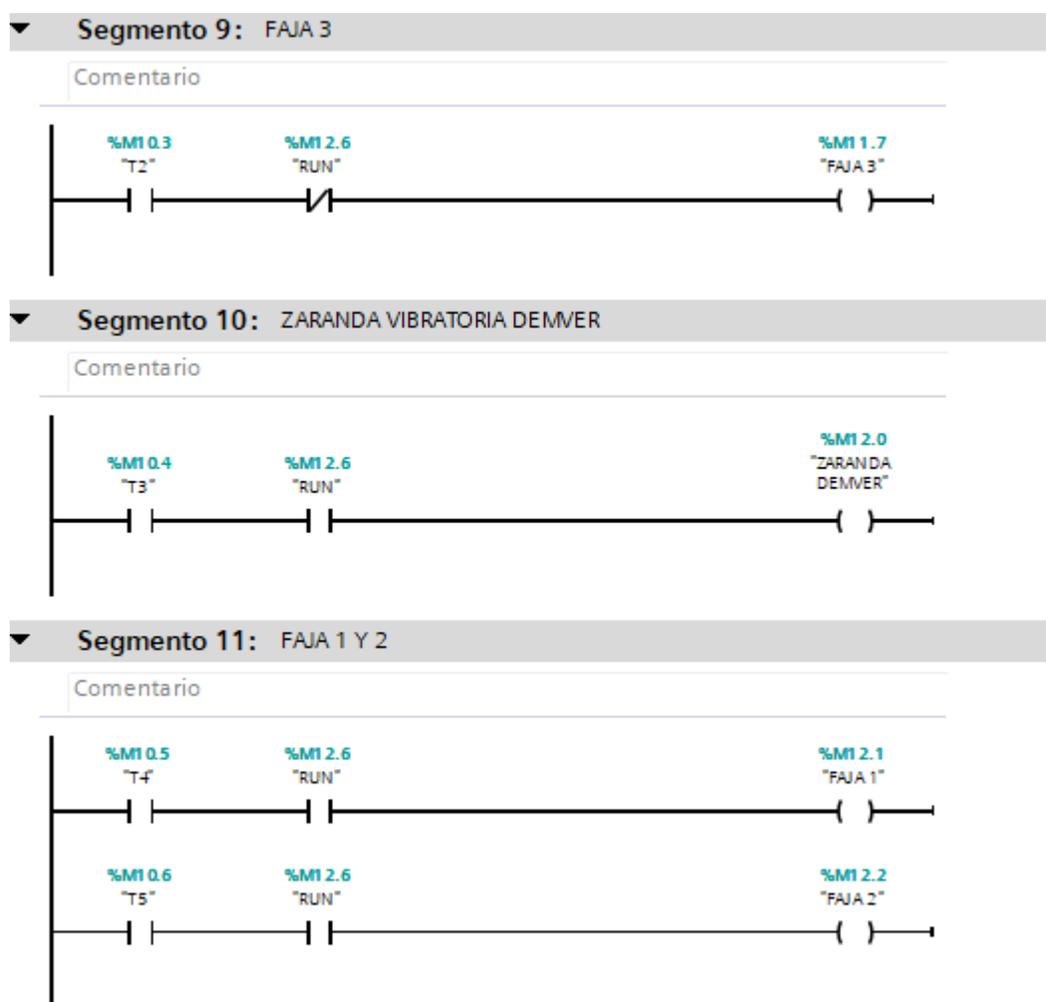


Figura 24: Programación de la faja 1,2,3 y Zaranda

Fuente: Elaboración propia

En el segmento 12 se muestra la dependencia de la chancadora primaria del temporizador 6.

En el segmento 13 se muestra la dependencia de la zaranda Grizzly, faja 0 y alimentadores del temporizador 7. Esto se evidencia en la siguiente figura 25.

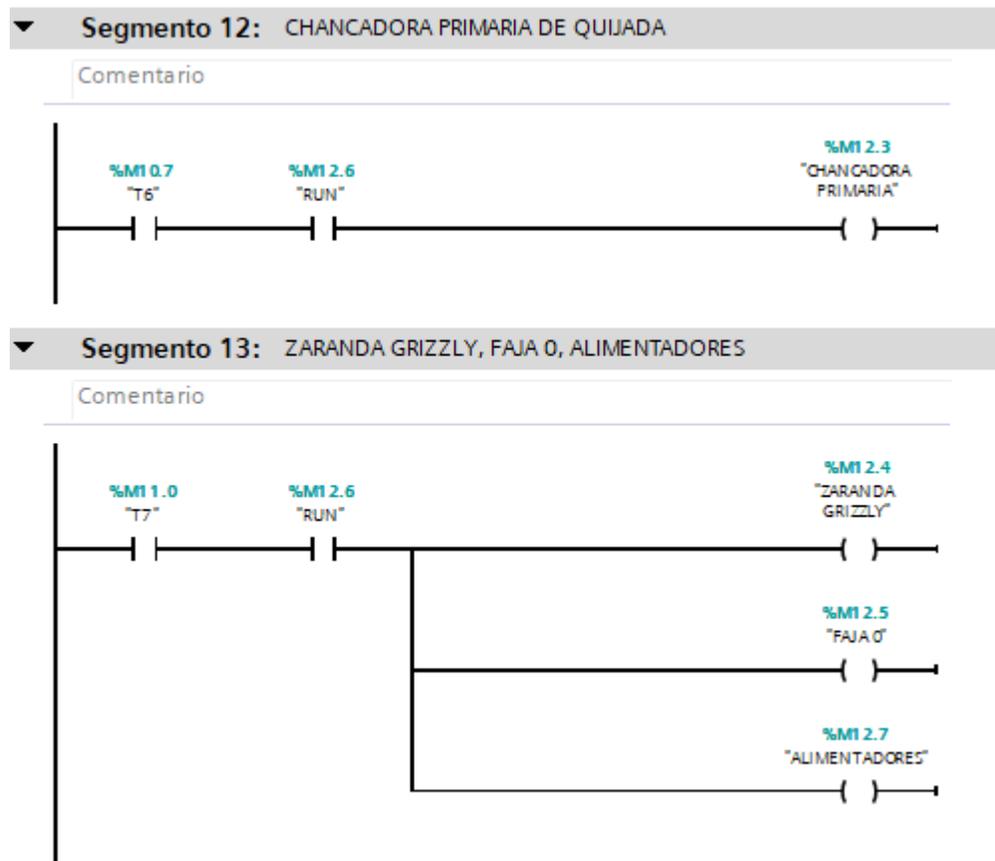


Figura 25: Programación de la Chancadora y Zaranda

Fuente: Elaboración propia

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- Se realiza la evaluación del sistema de proceso de chancado del mineral y su operación, teniendo en cuenta las variables de proceso, sistemas de entrada y salida.

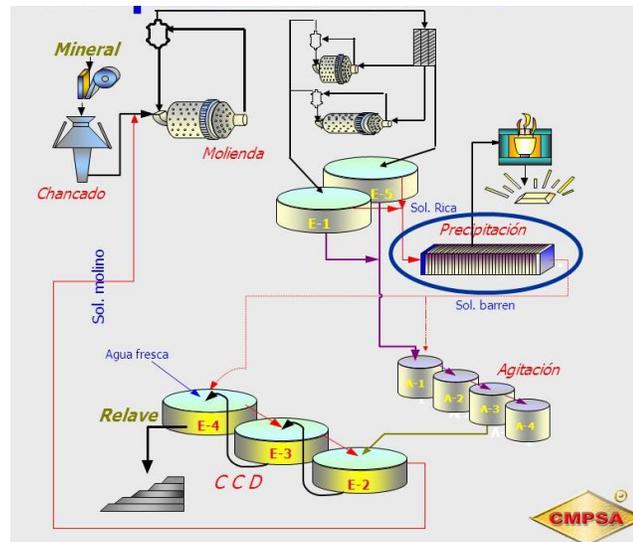


Figura 26: Evaluación del proceso de chancado

Fuente: (Revista institucional de poderosa, 2014)

- Para la implementación del sistema se eligió la siguiente instrumentación:
 - PLC S7-1200 + HMI KTP 700BASIC
 - Sensor de presión de aceite (0 – 7bar)
 - Transmisor de Presión de agua de Cerámica, transductor de presión de agua de 0 ~ 5v
 - Sensor detector de agua (tipo electrodo)

- El diseño de la automatización se muestra en el siguiente diagrama de flujo.

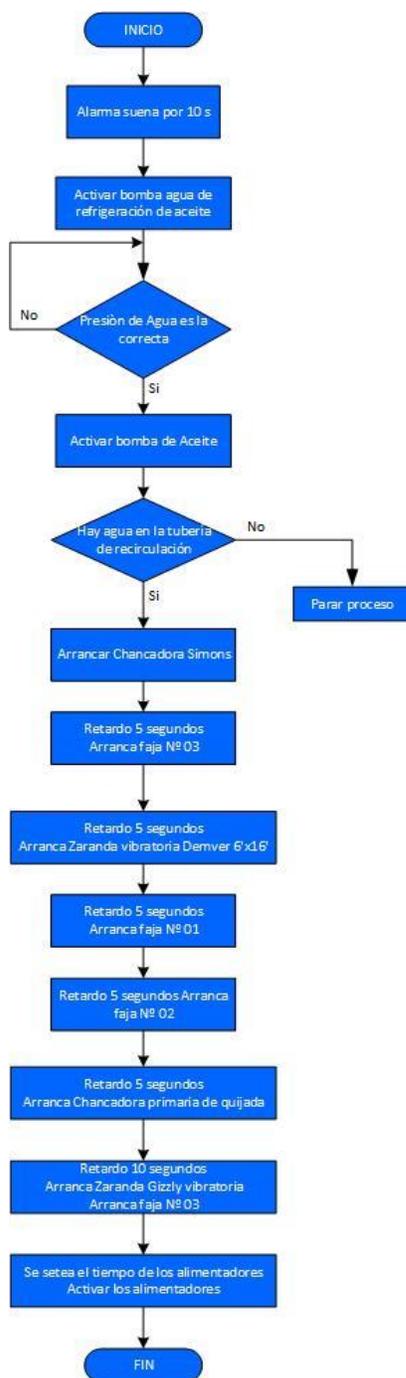


Figura 27: Diagrama de flujo del proceso de chancado

Fuente: Elaboración propia

- Las ecuaciones a implementar en función de las variables de entrada y variables intermedias son:

La siguiente ecuación representa el enclavamiento del arranque del sistema.

$$RUN = (RUN + START)STOP' \quad \text{Ec. 1}$$

La siguiente ecuación representa el arranque del primer temporizador, que es disparado por la variable RUN.

$$T_{1IN} = RUN \quad \text{Ec. 2}$$

La siguiente ecuación representa el arranque del segundo temporizador, que es disparado por el arranque del sistema, el primer temporizador, el sensor de presión de agua y sensor de detección de agua.

$$T_{2IN} = RUN T_1 S_{PRESION DE AGUA} S_{DETECCION DE AGUA} \quad \text{Ec. 3}$$

La siguiente ecuación representa el arranque del tercer temporizador, que es disparado por el segundo temporizador.

$$T_{3IN} = T_2 \quad \text{Ec. 4}$$

La siguiente ecuación representa el arranque del cuarto temporizador, que es disparado por el tercer temporizador.

$$T_{4IN} = T_3 \quad \text{Ec. 5}$$

La siguiente ecuación representa el arranque del quinto temporizador, que es disparado por el cuarto temporizador.

$$T_{5IN} = T_4 \quad \text{Ec. 6}$$

La siguiente ecuación representa el arranque del sexto temporizador, que es disparado por el quinto temporizador.

$$T_{6IN} = T_5 \quad \text{Ec. 7}$$

La siguiente ecuación representa el arranque del séptimo temporizador, que es disparado por el sexto temporizador.

$$T_{7IN} = T_6 \quad \text{Ec. 8}$$

La siguiente ecuación representa la activación de la alarma, que es disparado por RUN y el primer temporizador en modo complemento.

$$\text{Alarma} = \text{RUN } T_1' \quad \text{Ec. 9}$$

La siguiente ecuación representa la activación de la bomba de agua, que es disparado por RUN y el primer temporizador.

$$\text{Bomba de Agua} = \text{RUN } T_1 \quad \text{Ec. 10}$$

La siguiente ecuación representa la activación del sensor de presión de agua.

$$\text{Sensor de Presion de Agua} = S_{\text{PRESION DE AGUA}} \quad \text{Ec. 11}$$

La siguiente ecuación representa la activación de la bomba de aceite, que es disparado por RUN, el primer temporizador, el sensor de presión de agua y el sensor de detección.

$$\text{Bomba de Aceite} = \text{RUN } T_1 S_{\text{PRESION DE AGUA}} S_{\text{DETECCION}} \quad \text{Ec. 12}$$

La siguiente ecuación representa la activación del sensor de detección de agua, que es disparado por el sensor de detección de agua.

$$\text{Sensor de deteccion de circulacion de Agua} = S_{\text{DETECCION DE AGUA}} \quad \text{Ec. 13}$$

La siguiente ecuación representa la activación de la chancadora simons, que es disparado por la bomba de aceite.

$$\text{Chancadora Simons} = \text{Bomba de Aceite} \quad \text{Ec. 14}$$

La siguiente ecuación representa la activación de la faja N° 03, que es disparado por el segundo temporizador y RUN.

$$Faja\ N^{\circ}\ 02 = T_5RUN \quad \text{Ec. 15}$$

La siguiente ecuación representa la activación de la faja N° 03, que es disparado por el segundo temporizador y RUN.

$$Faja\ N^{\circ}\ 03 = T_2RUN \quad \text{Ec. 16}$$

La siguiente ecuación representa la activación de la zaranda vibratoria demver, que es disparado por RUN y el tercer temporizador.

$$Zaranda\ Vibratoria\ Demver = T_3RUN \quad \text{Ec. 17}$$

La siguiente ecuación representa la activación de la faja N°01, que es disparado por el cuarto temporizador y RUN.

$$Faja\ N^{\circ}\ 01 = T_4RUN \quad \text{Ec. 18}$$

La siguiente ecuación representa la activación de la faja N°02, que es disparado por el quinto temporizador y RUN.

$$Faja\ N^{\circ}\ 02 = T_5RUN \quad \text{Ec. 19}$$

La siguiente ecuación representa la activación de la chancadora primaria de quijada, que es disparado por el sexto temporizador y RUN.

$$Chancadora\ primaria\ de\ quijada = T_6RUN \quad \text{Ec. 20}$$

La siguiente ecuación representa la activación de la zaranda grizzli vibratoria, que es disparado por el séptimo temporizador y RUN.

$$Zaranda\ Grizzly\ Vibratoria = T_7RUN \quad \text{Ec. 21}$$

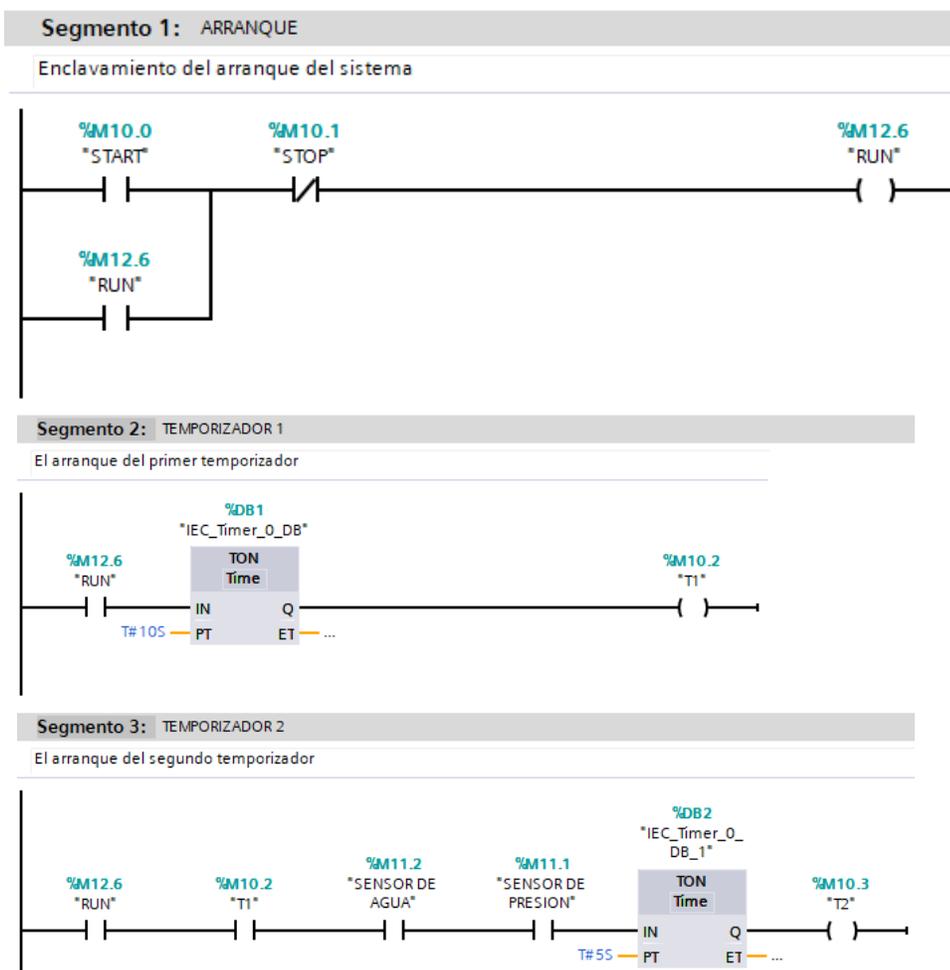
La siguiente ecuación representa la activación de la faja N°0, que es disparado por el séptimo temporizador y RUN.

$$Faja\ N^{\circ}\ 0 = T_7RUN \quad \text{Ec. 22}$$

La siguiente ecuación representa la activación de los alimentadores, que es disparado por el séptimo temporizador y RUN.

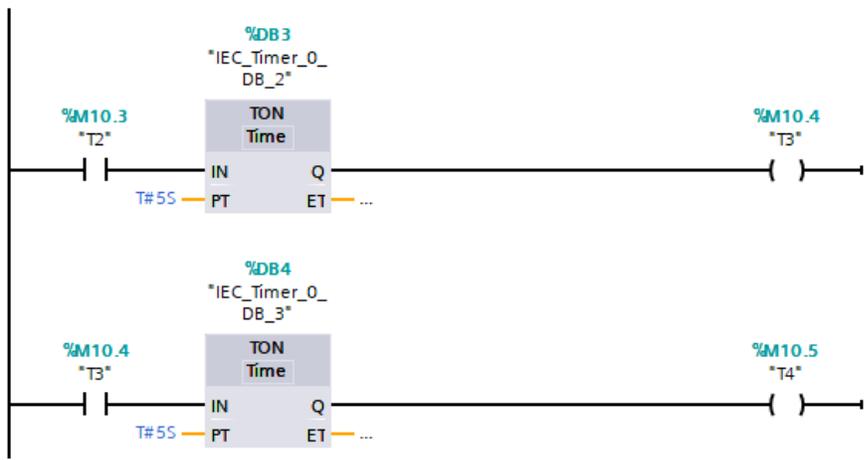
$$Alimentadores = T_7RUN \quad \text{Ec. 23}$$

- La implementación de las ecuaciones la podemos observar en los siguientes segmentos de programación realizados en el software de simulación TIA PORTAL v15.



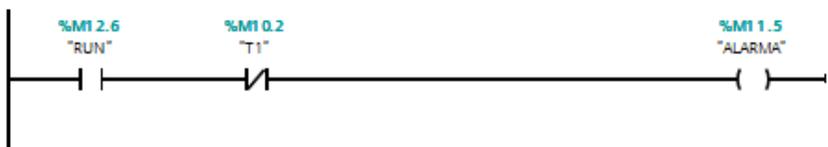
Segmento 4: TEMPORIZADOR 3,4,5,6,7

Comentario



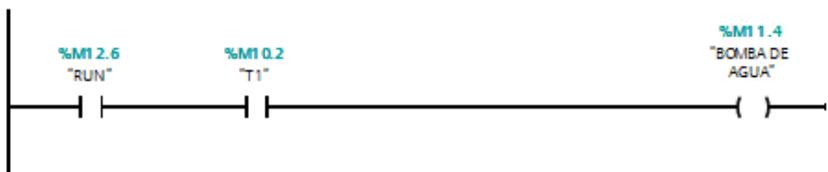
Segmento 5: ALARMA

Comentario



Segmento 6: BOMBA DE AGUA

Comentario



Segmento 7: BOMBA DE ACEITE

Comentario



Segmento 8: CHANCADORA SYMONS

Comentario



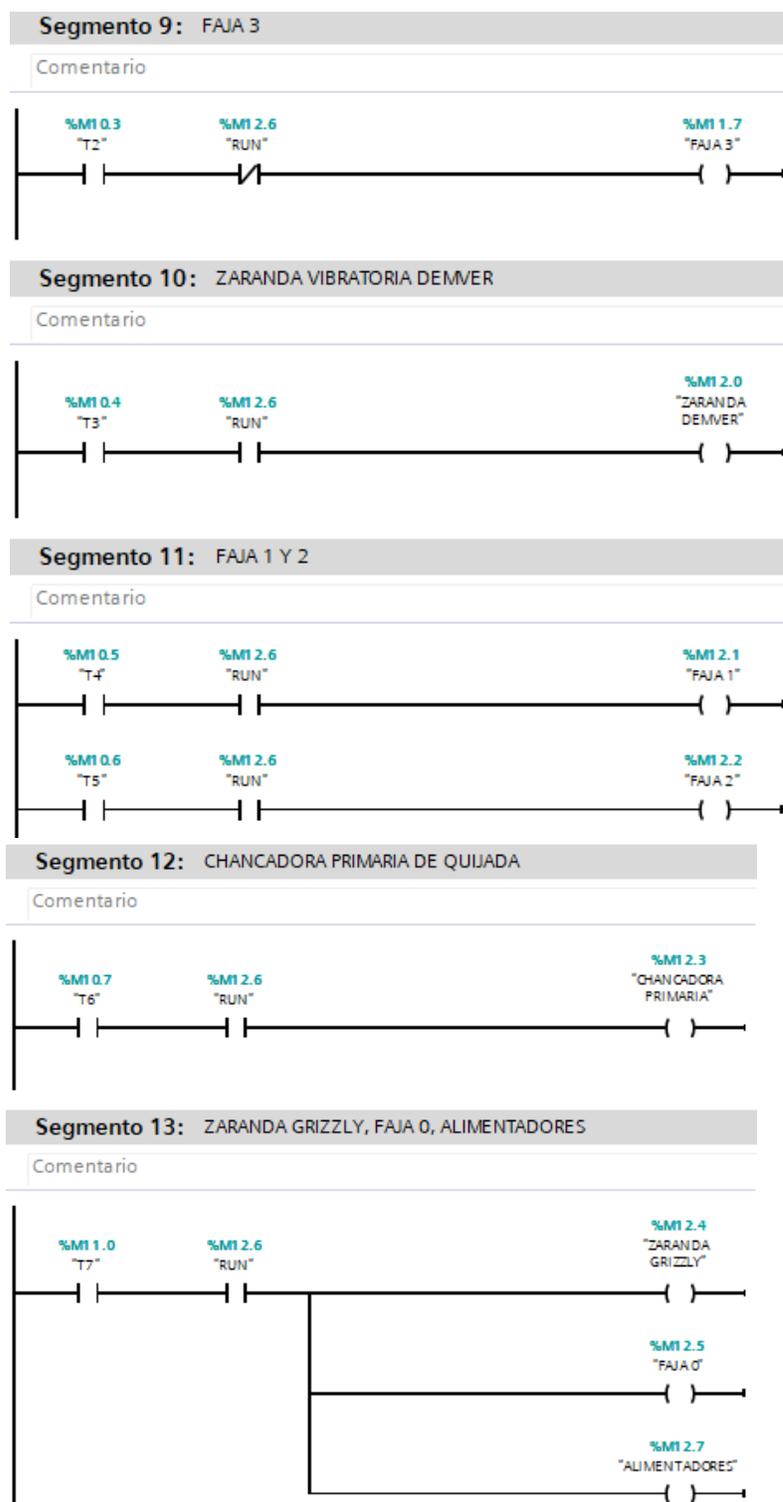


Figura 28: Programación en lenguaje LADDER

Fuente: Elaboración propia

La tabla siguiente muestra las paradas inesperadas en el proceso de chancado por mes durante el último año.

Tabla 6

Paradas inesperadas por mes en el proceso de chancado

Mes	Paradas inesperadas
1	2
2	2
3	2
4	3
5	1
6	3
7	2
8	3
9	3
10	2
11	1
12	1

Fuente: Elaboración propia

La siguiente gráfica representa el número de paradas inesperadas al año del proceso de chancado.

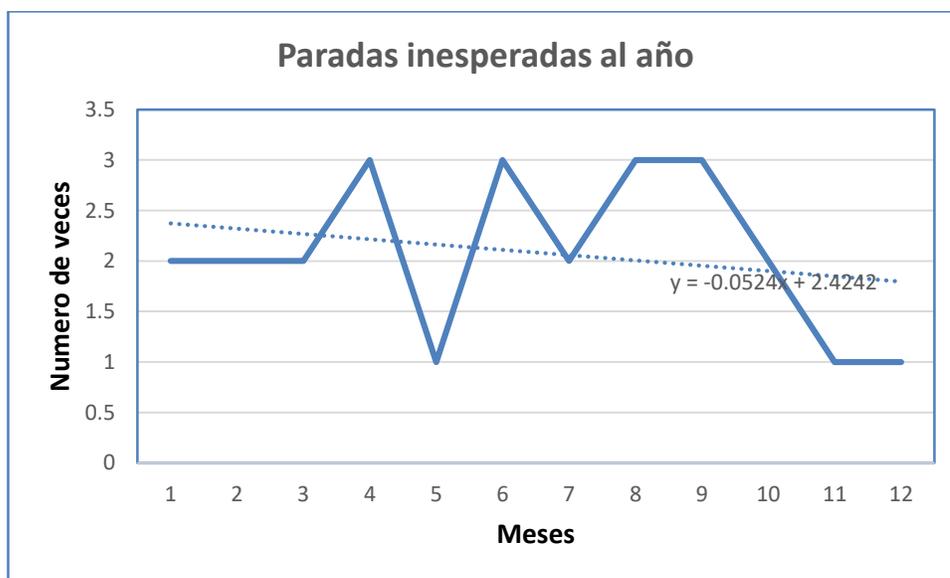


Figura 29: Paradas inesperadas al año

Fuente: Elaboración propia

La siguiente gráfica representa el tiempo de arranque del proceso en su estado actual y su estado anterior.

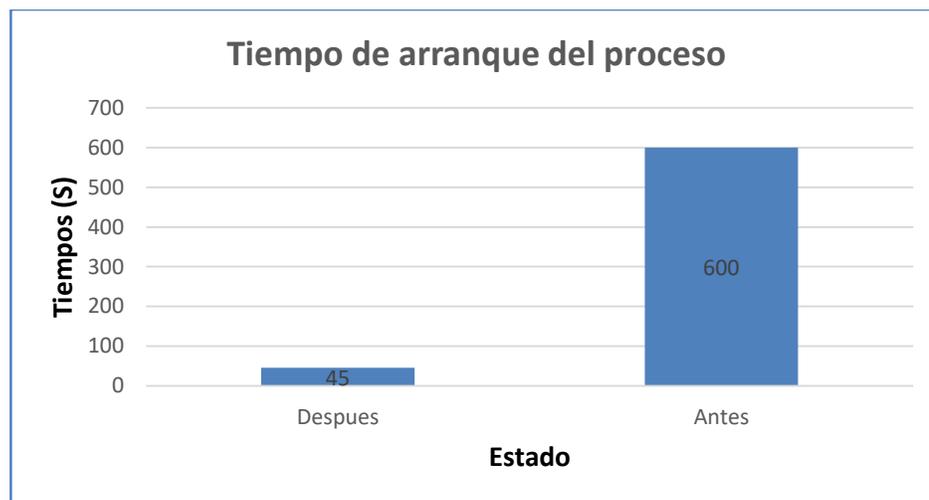


Figura 30: Tiempo de arranque del proceso

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para la obtención de la filosofía de trabajo se realizó entrevistas a los operarios del proceso de chancado, los cuales indicaron la secuencia de trabajo y la dependencia del arranque de cada etapa del proceso. Esto se plasmó el siguiente reporte:

- a) Se activa la alarma por 10 segundos
- b) Activación de la bomba de agua para enfriar el aceite
- c) Prender la bomba de aceite si la presión del agua es la correcta
- d) Si no hay agua en la tubería de recirculación para el proceso
- e) Arrancar la chancadora simons
- f) 5 segundos después arrancar la faja 3
- g) Luego de 5 segundos arrancar la zaranda vibratoria denver
- h) Con retardos de 5 segundos de arranque secuencial se activan faja 1, faja 2, chancadora primaria de quijada
- i) 10 segundos después se arranca la zaranda grizzli
- j) Se asigna el tiempo de los alimentadores
- k) Activar los alimentadores

Esto dio origen al diagrama de flujo para este proceso, (ver figura 27)

La instrumentación requerida para este proceso se basó en el uso de un controlador S7-1200 de Siemens para el control sistema secuencial, así como el uso de un HMI KTP 700 para la visualización del arranque de cada parte del proceso y configuración de los alimentadores, además del uso sensores de presión de agua y de aceite y sensores de detección de agua.

Los diagramas de tiempos para el funcionamiento del sistema están basados en la información de los sensores de presión de agua y aceite, así como del sensor de detección de agua, esto da origen al disparo de los temporizadores del 1 al 7 (ver figura 18)

El arranque del sistema total se encuentra en función de los temporizadores y de los sensores de agua y aceite. Las ecuaciones resultantes se pueden observar en la gráfica de tiempos y aplicando álgebra de boole básica. (ver figura 19)

La programación del sistema se realizó en el software TIA portal v15, el primer paso fue definir las variables a usar, en este caso fueron 24 variables booleanas, direccionadas en 3 bytes desde la dirección 10 hasta la 12. (ver figura 20)

Luego se procedió a realizar la programación en lenguaje Ladder en el que se necesitaron 13 segmentos de programación. (ver figura 28)

Debido que había entre una y tres paradas inesperadas por mes, y esta afectaba a todo el turno de trabajo de doce horas. Con la propuesta de la automatización se ha ganado esas horas perdidas en trabajo, obteniendo una eficiencia de 92.5%. (ver figura 30)

CONCLUSIONES

- ✓ Se evaluó el proceso de chancado de mineral y se determinó su operación de arranque, el cual es secuencial y que este dependía de los sensores de presión de agua y aceite, así como del sensor de detección de agua.
- ✓ La instrumentación requerida está dada por el controlador SIEMENES S7-1200, panel HMI KTP 700 BASIC, los sensores de presión marca GEMS y modelo 3100, el sensor de detención de agua marca IFM y modelo SI6000 ya que los contactores y pulsadores están en buen estado en planta.
- ✓ El diseño del sistema automatizado se realizó usando el software de siemens TIA PORTAL V15, en el que se utilizó 13 segmentos de instrucciones para programar las ecuaciones que gobiernan a los temporizadores y a las chancadoras, Zarandas y fajas del sistema.
- ✓ Se logró reducir el tiempo del proceso de chancado en un 92.5% con la automatización.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio más profundo del sistema de chancado ya que los operarios conocen parcialmente el funcionamiento del sistema.
- Proponer la automatización del proceso de chancado con molienda e integrarlos.

REFERENCIAS

- A. Marín, J. L. (2016). *Sintonización de un controlador PID implementado en un PLC haciendo uso de inteligencia de enjambres*. Cali.
- Bolton, W. (Diciembre de 2006). *Ingeniería de Control*. Mexico D.F: Alfaomega Grupo Editor. S.A. Obtenido de Alfaomega: https://www.academia.edu/9173061/ingenieria_de_control_2da_edicion_w_bolton_alfaomega
- Bolton, W. (03 de 2006). *Programmable Logic Controllers*. Obtenido de Newnes: [https://www.etf.ues.rs.ba/~slubura/Procesni%20racunari/Programmable%20Logic%20Controllers%204th%20Edition%20\(W%20Bolton\).pdf](https://www.etf.ues.rs.ba/~slubura/Procesni%20racunari/Programmable%20Logic%20Controllers%204th%20Edition%20(W%20Bolton).pdf)
- Chai, T. D. (2014). Optimización integrada para los sistemas de automatización de procesamiento de minerales. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 18.
- Chotón Posadas, H. B., & Reque Rubio, G. M. (2015). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA EL ACUARIO "RALFISH" EN LA CIUDAD DE TRUJILLO*. Trujillo.
- Dorf, R., & Bishop, R. (2005). *Sistemas de control moderno*. Madrid: Pearson Educacion.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson Educacion.
- Ramirez, M. (2015). *OPTIMIZACION Y MEJORA EN LA ETAPA DE CHANCADO/AGLOMERADO/LIXIVIACIÓN EN MINERA ANITA LTDA*. Tesis de maestría, Universidad Nacional José María Arguedas, Antofagasta. Recuperado el 17 de Junio de 2019, de <http://www.unjfsc.pe.dr/dchdhfbcbvjfd.vvidi/ccjdhfjfkf/cjcjcdjdj/jdjdjdjdd>

Revista institucional de poderosa. (30 de Noviembre de 2014). *El batolito*, 24. Obtenido de www.poderosa.com.pe: <http://www.poderosa.com.pe>

Túllume Agapito, J., & Llontop Farroñay, R. M. (2016). *AUTOMATIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE IZAJE POR WINCHES EN MINERÍA SUBTERRÁNEA DE LA COMPAÑIA MINERA CASAPALCA S.A.* Lambayeque.

Vargas, P. (2014). *OPTIMIZACIÓN DE LA SECCIÓN DE CHANCADO PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION DIARIA A 700 TONELADAS DE MINERAL TRITURADO EN LA EMPRESA ICM PERÚ.* Callao.

Vásquez, A., & Flores, J. (2021). *PROPUESTA DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE TRITURACION Y MOLIENDA PARA LA EXTRACCION DEL ORO EN MINA LA ESPERANZA, RIO SAN JUAN, UTILIZANDO TECNOLOGIA PLC DURANTE EL SEGUNDO SEMESTRE DEL 2021.* Managua.

Yanque, M. H. (2016). *CONTROL Y MONITOREO DE LA CARGA DE MINERAL EN LOS MOLINOS DE BOLAS EN UN PROCESO DE MOLIENDA CONVENCIONAL- CASO PLANTA CONCENTRADORA DE COBRE . AREQUIPA.*

ANEXOS

Anexo 1: Aplicación de la encuesta al jefe de mantenimiento eléctrico y automatización

ENCUESTA N°1

Esta encuesta se realiza en el marco de la tesis titulada: "DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL PROCESO DE CHANCADO DEL MINERAL EN EL ÁREA DE ACOPIO Y MOLIENDA DE LA PLANTA MARAÑÓN- CIA MINERA PODEROSA S.A". La presente encuesta deberá ser respondida en función de lo sucedido en el proceso de chancado del mineral en el área de acopio y molienda de la planta Marañón.

Responsable encuestado: Ing. Miguel Herrera Cruzalegui

Cargo: Jefe de mantenimiento eléctrico y automatización

1. ¿Qué potencia tiene el motor de la chancadora symons?
150HP
2. ¿Qué potencia y voltaje tiene el arrancador de supresor de polvos?
3HP y 220v
3. ¿Qué presión tiene la bomba de agua de refrigeración de aceite?
20 PSI (cuenta con un sistema de circulación).
4. ¿De qué marcas son los equipos (controladores, variadores, arrancadores suaves) que están trabajando actualmente y cuáles son los que se van a reemplazar?
 - Accionamientos eléctricos (Contactores): Schneider Electric
 - Guardamotores: Moeller
 - Fusibles: SIBA
 - Temporizadores: Stronger
5. ¿De qué marcas son los sensores y actuadores que están trabajando actualmente y cuáles son los que se van a reemplazar?
 - Detectores inductivos: Telemecanique
 - Pesaje dinámico: Mettler-Toledo
6. ¿Cuál es el tiempo de duración del proceso incluido paradas inesperadas?
 - Duración estimada por lote: 10 minuto, teniendo en cuenta que el lote en poderosa es de 30T/H o 40T/H, es variable según el turno de trabajo(12h) y de la disponibilidad del material.
7. ¿Cuántas paradas inesperadas hay en el proceso?
 - Paradas inesperadas: 2 a 3 por mes
8. ¿Cuál es el estado actual del proceso?
 - Sistema en control manual

Fecha de aplicación de la encuesta: 30 de abril del 2021

Anexo 2: Especificaciones técnicas del PLC SIEMENS CPU 1214C AC/DC/RLY

SIMATIC S7-1200				
Selección SIMATIC S7-1200 FW4.2				
Para obtener un listado completo de equipos y accesorios de sistemas S7-1200 puede usar el "TIA Selection Tool": www.siemens.com/tia-selection-tool .				
Características CPU	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C	CPU 1217C
Alimentación:	3 tipos: DC/DC/DC, AC/DC/RLY, DC/DC/RLY (Alimentación/Entradas/Salidas)			DC/DC/DC
Características únicas:	Reloj de tiempo real integrado, libre de mantenimiento, no requiere baterías			
Rango temp. Trabajo	-20°C a + 60°C			
Velocidad de ejecución:				
- Operación Booleana	0.085 us/ instrucción			
- Operación "Move word"	1,7 us/ instrucción			
Memoria de trabajo (Interna)	50 KB	75 KB	100 KB	125 KB
Memoria de carga (Interna)	1 MB	4 MB	4 MB	4 MB
Memoria remanente (interna)	10 KB	10 KB	10 KB	10 KB
E/S Digitales Integradas	8 Entradas/6 Salidas	14 Entradas/10 Salidas	14 Entradas/10 Salidas	
E/S Análogas Integradas	2 Entradas (0-10vdc)		2 Entradas (0-10vdc) / 2 salidas (0 - 20mA)	
Cartucho de señales	1 Máx.			
Módulos de señales	2 Máx.	8 Máx.	8 Máx.	8 Máx.
Máx. E/S - Digitales	82	284	284	284
Máx. E/S - Análogas	19	67	69	69
Contadores rápidos:	5 total (6 con SB)	6 total	6 total	6 total
- Fase simple	3@100 kHz y 1@30 kHz (ó 2@30kHz con SB)	3@100 kHz y 3@30 kHz	3@100 kHz y 3@30 kHz	1@1MHz, 3@100 kHz y 3@30 kHz
- Fase doble cuadratura	3@80kHz y 1@20kHz (ó 2@20kHz con SB)	3@80kHz y 3@20kHz	3@80kHz y 3@20kHz	1@1MHz, 3@80kHz y 1@20kHz
Salidas de pulsos	4 @ 100 kHz (únicamente Salidas DC)			4@1MHz
Interrupciones cíclicas	4 en total con resolución 1ms			
Interrupciones por flancos	8 ascend. y 8 descend	12 ascend. y 12 descend.	12 ascend. y 12 descend.	12 ascend. y 12 descend.
Lazos PID	16			
Puertos de comunicación	5 máx (por medio de módulos)	5 máx (por medio de módulos)	6 máx (por medio de módulos)	6 máx (por medio de módulos)
Módulos de comunicación	3 módulos máximo por configuración			
Puerto Industrial ETHERNET Integrado	1	1	2	2
- Protocolos:	Industrial Ethernet estándar - TCP/IP - ISO on TCP - UDP - Modbus TCP/IP - S7 como servidor			
Puerto serial Industrial	Serial RS232, RS485, Asi, PROFIBUS DP, DNP3 por medio de módulo de comunicación.			
- Protocolos:	USS - Modbus RTU maestro/slavo, ASCII, ASI, PROFIBUS maestro, PROFIBUS esclavo, DNP3 y Free port.			

Anexo 3: Especificaciones técnicas del SIGNAL BOARDS

<i>Signal Boards</i>	SB 1231 AI	SB 1231 RTD	SB 1231 TC
Entrada analógica	<i>AI 1 x 12 Bit ± 10 V DC, ± 5 V DC, ± 2.5 V DC or 0-20 mA</i>	<i>AI 1 x RTD x 16 Bit Type: Platinum (Pt)</i>	<i>AI 1 x TC x 16 Bit Types: J, K Voltage range: ± 80 mV</i>
<i>Signal Boards</i>	SB 1232 AQ		
Salida analógica	<i>AO 1 x 12 Bit ±10 V DC or 0-20 mA</i>		
<i>Communication Boards</i>	CB 1241 RS485		
Comunicación serie	<i>1 x 6 terminal screw connector</i>		

Anexo 4: Especificaciones técnicas del sensor de presión

Specifications

Performance	
Long Term Drift	0.2% FS/YR (non-cumulative)
Accuracy	
3100	0.25% FS
3200	0.25% FS for >1000 psi (60 bar) 0.50% FS for <1000 psi (60 bar)
Thermal Error	
3100	0.83% FS/100°F (1.5% FS/100°C)
3200	2% FS/100°C for <1000 psi (60 bar)
Compensated Temperatures	-40°F to +257°F (-40°C to +125°C)
Operating Temperatures	-40°F to +257°F (-40°C to +125°C) for elec. codes B, C, E, G, 6, 8, 9, Y -5°F to +180°F (-20°C to +80°C) for elec. codes F, 3, W
Zero Tolerance	
3100	0.5% of span
3200	0.50% of span for >1000 psi (60 bar) 1.00% of span for <1000 psi (60 bar)
Span Tolerance	
3100	0.5% of span
3200	0.50% of span for >1000 psi (60 bar) 1.00% of span for <1000 psi (60 bar)
Response Time	1 ms
Fatigue Life	Designed for more than 100 M cycles
Mechanical Configuration	
Pressure Port	See under "How to Order," last page
Wetted Parts	17-4 PH Stainless Steel
Housing	304 Stainless Steel
Electrical Connection	See under "How to Order," last page
Enclosure	IP67 (IP65 for electrical codes G & W)
Vibration	40G peak to peak sinusoidal, (Random Vibration: 20 to 1000 Hz @ approx. 40G peak per MIL-STD-810E)
Shock	Withstands free fall to IEC 68-2-32 procedure 1
EMC (Radiated Immunity)	100 W/m
Approvals	CE, conforms to European Pressure Directive, Fully RoHS compliant, CRN Registered to ANSMASME B31.3, UL recognized files # E219842 & E174228
Weight	1.8 - 5.3 ounces (50 - 150 grams). Configuration dependent.
Voltage	
Output (3-wire)	0 V min. to 10 V max. See under "How to Order," last page
Supply Voltage	2 Volts above full scale to 30 VDC max @ 4.5 mA (6.5 mA on dual output version)
Source and Sinks	2 mA
Current	
Output (2-wire)	4-20 mA
Supply Voltage	8-30 VDC
Maximum Loop Resistance	(Supply Voltage-8) x 50 ohms
Ratiometric	
Output	0.5 to 4.5 VDC @ 4 mA (6.5 mA on dual output version)
Supply Voltage	5 VDC ±10%

Anexo 5: Especificaciones técnicas del sensor de flujo

Application	
Application	hygienic systems
Medium temperature [°C]	-25...95; (for SIP process: ...140 °C)
Pressure rating [bar]	30
Liquids	
Application	hygienic systems
Medium temperature [°C]	-25...95; (for SIP process: ...140 °C)
Gases	
Medium temperature [°C]	-25...95; (for SIP process: ...140 °C)
Electrical data	
Operating voltage [V]	19...36 DC
Current consumption [mA]	< 60
Protection class	III
Reverse polarity protection	yes
Power-on delay time [s]	10
Inputs / outputs	
Number of inputs and outputs	Number of digital outputs: 1
Outputs	
Total number of outputs	1
Output signal	switching signal
Electrical design	PNP
Number of digital outputs	1
Output function	normally open / normally closed; (parameterisable)
Max. voltage drop switching output DC [V]	2.5
Permanent current rating of switching output DC [mA]	250
Short-circuit protection	yes
Type of short-circuit protection	pulsed
Overload protection	yes
Measuring/setting range	
Probe length L [mm]	55
Liquids	
Setting range [cm/s]	3...300
Greatest sensitivity [cm/s]	3...100
Gases	
Setting range [cm/s]	200...3000
Greatest sensitivity [cm/s]	200...800
Accuracy / deviations	
Repeatability [cm/s]	1...5
Temperature drift [cm/s x 1/K]	0.1; (for water 5...100 cm/s; 10...70 °C)
Temperature gradient [K/min]	300
Switch point accuracy [cm/s]	± 2...± 10; (for water 5...100 cm/s; 25 °C; Factory setting)
Hysteresis [cm/s]	2...5; (for water 5...100 cm/s; 25 °C; Factory setting)
Response times	
Response time [s]	1...10
Liquids	
Response time [s]	1...10
Gases	
Response time [s]	1...10

Software / programming		
Adjustment of the switch point		pushbutton
Operating conditions		
Ambient temperature	[°C]	-25...60
Protection		IP 67; IP 69K
Tests / approvals		
EMC	EN 61000-4-2 ESD	4 kV CD / 8 kV AD
	EN 61000-4-3 HF radiated	10 V/m
	EN 61000-4-4 Burst	2 kV
	EN 61000-4-6 HF conducted	10 V
Shock resistance	DIN IEC 68-2-27	50 g (11 ms)
Vibration resistance	DIN EN 60068-2-6	10 g (55...2000 Hz)
MTTF	[years]	298
Mechanical data		
Weight	[g]	395.6
Materials		stainless steel (1.4404 / 316L); PC; PBT-GF20; EPDM/X; O-ring: FKM
Materials (wetted parts)		stainless steel (1.4435 / 316L); surface characteristics: Ra < 0,4 / Rz 4
Process connection		Aseptoflex
Installation length EL	[mm]	69.5
Displays / operating elements		
Display	function	10 x LED, three-colour
Remarks		
Pack quantity		1 pcs.
Electrical connection		
Connector: 1 x M12; Contacts: gold-plated		