

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE UN
FILTRO PRENSA MARCA SPERRY DE CONCENTRADO DE
PLOMO PARA LA PLANTA CONCENTRADORA DE CIA
CASAPALCA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

EDEN VÍCTOR MEDINA ROJAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE UN FILTRO
PRENSA MARCA SPERRY DE CONCENTRADO DE PLOMO PARA LA
PLANTA CONCENTRADORA DE CIA CASAPALCA**

TESIS PRESENTADA POR:

EDEN VÍCTOR MEDINA ROJAS

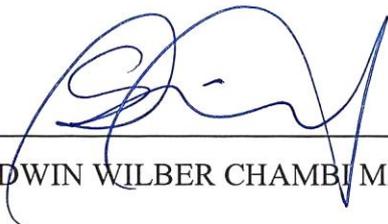
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO



APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:


M.Sc. EDWIN WILBER CHAMBI MAMANI

PRIMER MIEMBRO:


Mg. CARLOS OMAR QUIÑONES QUISPE

SEGUNDO MIEMBRO:


Ing. WALTER OSWALDO CUTIPA FLORES

DIRECTOR / ASESOR:


Dr. MARCO ANTONIO QUISPE BARRA

TEMA: Automatización de filtro prensa
ÁREA: Control y automatización

FECHA DE SUSTENTACIÓN 13 DE DICIEMBRE DEL 2019

DEDICATORIA

A mis queridos padres Zenovio Medina y María Rojas, quienes me brindaron todo su apoyo en todas las etapas de mi vida. Por los valores y principios que me inculcaron desde niño.

A mis hermanas Yenny Medina y Maribel Medina, por estar siempre presentes, brindándome su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi equipo de trabajo de Mantenimiento Eléctrico de CIA CASAPALCA, por brindarme su apoyo en la realización del presente trabajo de investigación. Agradezco también a los operadores de filtrado quienes aportaron su experiencia en la operación de filtros prensa.

Agradezco a los docentes de mi querida Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica que con sus valiosos conocimientos y enseñanzas hicieron que pueda formarme como profesional. Gracias por su dedicación.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| Índice de figuras..... | 9 |
| Índice de tablas | 11 |
| Índice de acrónimos | 13 |
| Resumen..... | 15 |
| Abstract..... | 16 |
| CAPÍTULO I | 17 |
| Introducción | 17 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 19 |
| 1.2. Formulación del problema | 20 |
| 1.3. Justificación..... | 20 |
| 1.4. Hipótesis general..... | 21 |
| 1.5. Hipótesis específicas | 21 |
| 1.6. Objetivo general | 21 |
| 1.7. Objetivos específicos | 21 |
| CAPÍTULO II | 22 |
| Revisión de literatura | 22 |
| 2.1. Antecedentes nacionales | 22 |
| 2.2. Antecedentes internacionales | 23 |
| 2.3. Conceptos de instrumentación y control | 28 |
| 2.3.1. Instrumentación | 28 |
| 2.3.2. Sistema de medición | 28 |
| 2.3.3. Señal..... | 29 |
| 2.3.4. Indicadores..... | 29 |
| 2.3.5. Transmisor | 29 |
| 2.3.6. Controladores..... | 29 |
| 2.3.7. Transductores..... | 29 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.3.8. | Rango | 29 |
| 2.3.9. | Linealidad | 29 |
| 2.3.10. | Precisión..... | 30 |
| 2.3.11. | Error | 30 |
| 2.3.12. | Exactitud | 30 |
| 2.4. | Instrumentos en función de la variable de proceso | 30 |
| 2.5. | Filtro sperry | 31 |
| 2.6. | Planta concentradora | 33 |
| 2.7. | Controlador lógico programable “PLC” | 40 |
| 2.7.1. | Funcionamiento de un PLC | 40 |
| 2.7.2. | Estructura del PLC..... | 42 |
| 2.8. | Controladores lógicos programables Allen-Bradley | 43 |
| 2.8.1. | Sistemas de control de altas prestaciones | 44 |
| 2.8.2. | Controlador compactlogix 5370 | 44 |
| 2.9. | Variadores de frecuencia ABB..... | 46 |
| 2.10. | Variador ACS880 de ABB | 47 |
| 2.10.1. | Modo de control de velocidad | 48 |
| 2.10.2. | Modo de control de frecuencia | 49 |
| 2.10.3. | Modos de control especiales | 49 |
| 2.11. | Gestión de proyectos | 49 |
| 2.12. | La importancia de la dirección de proyectos | 52 |
| 2.13. | Relé de sobrecarga E1 plus..... | 54 |
| 2.14. | Hmi de alto rendimiento | 56 |
| 2.15. | Protocolo de comunicación Ethernet/ip..... | 58 |
| 2.15.1. | La capa física | 61 |
| 2.15.2. | La capa de enlace de datos..... | 63 |
| 2.15.3. | La red y las capas de transporte | 64 |

| | | |
|----------------------------|---|-----|
| 2.15.4. | Las capas superiores | 70 |
| 2.15.5. | Administración de la tecnología Ethernet/ip | 72 |
| 2.16. | Norma ANSI/ISA-5.1-2009 | 73 |
| 2.16.1. | Definiciones del estándar ANSI/ISA-5.1-2009 | 74 |
| 2.16.2. | Identificación de la instrumentación..... | 81 |
| 2.17. | Human-machine interface (HMI)..... | 87 |
| 2.17.1. | Uso de colores..... | 89 |
| 2.17.2. | Jerarquía de gráficos | 91 |
| CAPÍTULO III..... | | 94 |
| Materiales y métodos | | 94 |
| 3.1. | Diseño, nivel y tipo de la investigación | 94 |
| 3.1.1. | Diseño de la investigación | 94 |
| 3.1.2. | Nivel de la investigación..... | 94 |
| 3.2. | Población y muestra | 95 |
| 3.3. | Ubicación y descripción de la investigación | 96 |
| 3.4. | Técnicas e instrumentos para la recolección de datos..... | 97 |
| 3.4.1. | Técnicas | 97 |
| 3.4.2. | Instrumentos..... | 97 |
| 3.5. | Limitaciones | 97 |
| 3.6. | Primera etapa: descriptiva | 98 |
| 3.6.1. | Documentación de requisitos..... | 101 |
| 3.7. | Segunda etapa: experimental..... | 102 |
| 3.7.1. | Función de transferencia..... | 102 |
| 3.7.2. | Elaboración de plano p&id | 108 |
| 3.7.3. | Proceso de filtrado | 111 |
| 3.7.4. | Registro de tiempo de ciclo de filtrado | 113 |
| 3.7.5. | Registro de horas de operación de compresora | 114 |

| | | |
|--|--|-----|
| 3.7.6. | Registro de limpieza de cochas..... | 115 |
| 3.8. | Plan de proyecto | 116 |
| 3.9. | Implementación del proyecto | 119 |
| 3.9.1. | Lista de entradas y salidas al PLC | 120 |
| 3.10. | Definición del capex y opex del proyecto | 123 |
| 3.10.1. | Capex del proyecto | 123 |
| 3.10.2. | Opex del proyecto | 123 |
| 3.11. | Programación de plc | 124 |
| 3.12. | Diseño de red ethernet/ip..... | 126 |
| 3.13. | Implementación de red industrial Ethernet/ip | 127 |
| 3.13.1. | Comunicación con variador ACS 880 ABB | 127 |
| 3.13.2. | Comunicación con relé E1 plus | 132 |
| 3.13.3. | Proceso de diseño de HPHMI..... | 135 |
| CAPÍTULO IV | | 139 |
| Resultados y discusión..... | | 139 |
| 4.1. | Recuperado de residuos de concentrado de plomo | 139 |
| 4.2. | Reducción de tiempo de filtrado por ciclo | 141 |
| 4.2.1. | OEE Efectividad global del equipo | 144 |
| CONCLUSIONES | | 149 |
| RECOMENDACIONES..... | | 150 |
| REFERENCIAS..... | | 151 |
| ANEXOS | | 155 |
| Anexo A – Hoja de datos de controlador compactlogix 5370 13..... | | 155 |
| Anexo B – Normas ISA | | 163 |
| Anexo C – Convertidor ACS880 de ABB | | 174 |
| Anexo D – Programación Ladder | | 183 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1: Filtro Sperry | 32 |
| Figura 2.2: Proceso de chancado. | 33 |
| Figura 2.3: Proceso de chancado. | 34 |
| Figura 2.4: Proceso de chancado. | 34 |
| Figura 2.5: Molino Primario 14' x 23.75' y molino remolienda 12.5' x 14'. | 35 |
| Figura 2.6: Zaranda De Alta Frecuencia..... | 36 |
| Figura 2.7: Celdas de Flotación. | 37 |
| Figura 2.8: Espesamiento de relave. | 38 |
| Figura 2.9: Recuperación de agua..... | 38 |
| Figura 2.10: Filtro Prensa. | 39 |
| Figura 2.11:Controlador lógico programable. | 40 |
| Figura 2.12: Estructura interna de un PLC | 43 |
| Figura 2.13: CompactLogix™ 5370 L3..... | 46 |
| Figura 2.14: Convertidor ACS880 de ABB..... | 48 |
| Figura 2.15: Dimensiones aproximadas de El Plus Pass-thru Electronic Overload Relay. | 56 |
| Figura 2.16: Pantalla HMI con vista general de nivel 1. | 57 |
| Figura 2.17: La organización de la biblioteca de cuatro redes. | 61 |
| Figura 2.18: Relación de CIP con una trama Ethernet. | 64 |
| Figura 2.19: Estructura de la encapsulación de un paquete. | 65 |
| Figura 2.20: Relación entre CIP y otros protocolos comunes de Ethernet. | 72 |
| Figura 2.21: Identificación de un registrador/controlador. | 81 |
| Figura 2.22: Una pantalla gráfica de 1990 típica y basada en P&ID..... | 87 |
| Figura 2.23: Representación analógica de la información..... | 88 |

| | |
|--|-----|
| Figura 2.24: Representando el estado de alarmas con código redundante y uso de color apropiado. | 90 |
| Figura 2.25: Ejemplo de pantalla de nivel 2 de un reactor. | 92 |
| Figura 3.1: Ubicación del Lugar utilizando Google Earth..... | 96 |
| Figura 3.2: Entrada y salida de la simulación del sistema. | 107 |
| Figura 3.3: Plano P&ID. | 110 |
| Figura 3.4: Proceso de filtrado..... | 111 |
| Figura 3.5: Ubicación de los tableros para el operador. | 112 |
| Figura 3.6: Estructura de descomposición del trabajo | 117 |
| Figura 3.7: Implementación de Red Ethernet/IP. | 126 |
| Figura 3.8: Tarjeta de comunicación FENA-11 ABB | 127 |
| Figura 3.9: Entorno gráfico de programación RSLogix 5000. | 128 |
| Figura 3.10: Tarjeta de comunicación 193 ETN Allen Bradley. | 132 |
| Figura 3.11: EDS hardware Installation Tool..... | 133 |
| Figura 3.12: Registro del producto Rockwell Software EDS..... | 133 |
| Figura 3.13: Wizard de Rockwell Software EDS..... | 134 |
| Figura 3.14: Software de programación de RSLogix 5000. | 134 |
| Figura 3.15: Pantalla de nivel 1. | 135 |
| Figura 3.16: Pantalla nivel 2..... | 136 |
| Figura 3.17: Pantalla de nivel 3. | 137 |
| Figura 3.18: Pantalla de nivel 4. | 138 |
| Figura 4.1: Diagrama P&ID para el proceso de filtrado de plomo..... | 140 |
| Figura 4.2: Comparación de antes y después..... | 141 |
| Figura 4.3: Tendencia de tiempo actual de ciclo. | 143 |
| Figura 4.4: Comparación de Tendencia Horómetro Compresora..... | 144 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 2.1: Letras de identificación para variables medidas..... | 84 |
| Tabla 2.2: Dispositivos de instrumentación y símbolos de función. | 85 |
| Tabla 2.3: Combinación de letras para la designación de medición de variables. | 86 |
| Tabla 3.1: Acta de constitución del proyecto. | 100 |
| Tabla 3.2: Documentación de requisitos..... | 101 |
| Tabla 3.3: Consideraciones para instrumentos nuevos. | 111 |
| Tabla 3.4: Materiales para instrumentación..... | 111 |
| Tabla 3.5: Cronometrado de ciclo de filtro Sperry. | 113 |
| Tabla 3.6: Cronometrado de Ciclo Filtro Sperry Tiempo promedio por día. | 114 |
| Tabla 3.7: Registro de Horómetro Compresora EP250, Ingersoll Rand | 115 |
| Tabla 3.8: Registro para limpieza de cocha de plomo | 115 |
| Tabla 3.9: Plan de Gestión del Proyecto..... | 116 |
| Tabla 3.10: Cronograma del proyecto | 118 |
| Tabla 3.11: Materiales a usar..... | 119 |
| Tabla 3.12: Lista de instrumentos..... | 119 |
| Tabla 3.13: Lista de entradas y salidas al PLC | 121 |
| Tabla 3.14: Costos de materiales para el proyecto. | 122 |
| Tabla 3.15: CAPEX del proyecto | 123 |
| Tabla 3.16: OPEX del proyecto | 123 |
| Tabla 3.17: Parámetros a configurar en el variador..... | 129 |
| Tabla 3.18: Parametrización de la instancia de entrada 171..... | 131 |
| Tabla 3.19: Parametrización de la instancia de entrada 121..... | 132 |
| Tabla 4.1: Registro Peso Limpieza Cocha..... | 139 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 4.2: Horas/ Hombre Limpieza de Poza de Recuperación. | 140 |
| Tabla 4.3: Concentrado de Ciclo Filtro Sperry antes de la automatización. | 142 |
| Tabla 4.4: Concentrado de Ciclo Filtro Sperry después de la automatización. | 142 |
| Tabla 4.5: Cálculo del rendimiento sin automatización. | 145 |
| Tabla 4.6: Cálculo de la disponibilidad sin automatización. | 145 |
| Tabla 4.7: Cálculo de la calidad sin automatización. | 146 |
| Tabla 4.8: Calculo de OEE antes de la automatización. | 146 |
| Tabla 4.9: Cálculo del rendimiento con automatización. | 147 |
| Tabla 4.10: Cálculo de la disponibilidad con automatización. | 147 |
| Tabla 4.11: Cálculo de la calidad con automatización. | 148 |
| Tabla 4.12: Calculo de OEE después de la automatización. | 148 |

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ANSI: American National Standards Institute

ASIC: Application specific integrated circuit

CA: Corriente Alterna

CC: Corriente Continua

CENTROMIN: Empresa Minera del Centro

CIP: Common Industrial Protocol

CSMA/CD: Acceso múltiple de detección de portador / Detección de colisión

DCS: Distributed control system

E/S: Entrada y Salida

EDS: Electronic Data Sheet

EDT: Estructura Desglosada del Trabajo

EtherNet/IP: EtherNet Industrial Protocol

FTP: Foil Twisted pairs

HMI: Human Machine Interface

HPHMI: High Performance Human Machine Interface

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

ISA: International Society of Automation

LAN: Local Área Network

MAC: Media Access Control

PAC: Controlador programable de automatización

PLC: Controlador Lógico Programable

PMBOK: Project Management Body of Knowledge

PMI: Project Management Institute

SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition

TCP/IP: Transmission Control Protocol Internet Protocol

UCMM: Unconnected Message Manager

UDP: User Datagram Protocol

WAN: Wide Area Network

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de automatización de un filtro prensa marca Sperry, utilizado para el secado de concentrado de plomo en la planta concentradora de CIA Casapalca, también tiene como objetivos específicos recuperar la mayor cantidad de residuos de concentrado de plomo, reducir los tiempos de filtrado por ciclo y optimizar la demanda de aire de secado del filtro Sperry. El desarrollo de la investigación abarca el diseño del sistema de instrumentación, utilizando la norma ISA-S5.1. Para el control se usó un controlador lógico programable CompactLogix 1769-L30-ER que se conecta con un variador de velocidad de ABB, relés de sobrecarga y un HMI; mediante el protocolo de comunicación Ethernet/IP. La programación de pantallas del HMI sigue los estándares de la norma ISA101. Con el diseño e implementación del sistema de automatización se logró recuperar 12.5 toneladas en promedio por mes de concentrado de plomo que se iban a las cochas de recuperación producto del lavado de lonas y tuberías. Se redujo las horas hombre en 30 horas, que eran usadas en el proceso de recuperación de las cochas. Se implementó un control de tiempo para la etapa de secado y se logró reducir el tiempo promedio que se tenía de 111 minutos a 72.3 minutos en un ciclo de filtrado. También se optimizó la demanda de aire de secado del filtro Sperry porque este es un parámetro a controlar mediante el PLC y parametrizado a través del HMI. La tendencia del historial de medidas del horómetro indicó que con la automatización la demanda de aire será menor. Con la automatización del filtro Sperry se mejoró la eficiencia del equipo en 86%, sin la automatización estaba en 76%.

Palabras clave: Automatización Filtro Prensa, ISA-S5.1, Ethernet/IP, ISA 101, PLC.

ABSTRACT

This research aims to design and implement an automation system for a Sperry brand press filter, used for drying lead concentrate in the CIA Casapalca concentrator plant, also has the specific objectives of recovering the largest amount of lead concentrate waste, reduce filtering times per cycle and optimize the demand for drying air from the Sperry filter. The research development covers the design of the instrumentation system, using the ISA-S5.1 standard. For the control, a CompactLogix 1769-L30-ER programmable logic controller was used, which is connected to an ABB variable speed drive, overload relays and an HMI; via the Ethernet / IP communication protocol. HMI screen programming follows the standards of the ISA101 standard. With the design and implementation of the automation system, an average of 12.5 tons per month of lead concentrate were recovered, going to the recovery sheds due to tarpaulin and pipe washing. The man hours were reduced by 30 hours, which were used in the process of recovering the car. A time control for the drying stage was implemented and the average time taken from 111 minutes to 72.3 minutes in a filtering cycle was reduced. The drying air demand of the Sperry filter was also optimized because this is a parameter to be controlled by the PLC and parameterized through the HMI. The trend in the measurement history of the hour meter indicated that with automation the demand for air will be lower. With the automation of the Sperry filter the efficiency of the equipment was improved in 86%, without the automation it was in 76%.

Keywords: Press Filter Automation, ISA-S5.1, Ethernet/IP, ISA 101, PLC.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere a la automatización de un filtro prensa marca Sperry, utilizado en el secado de concentrado de plomo. El cual está instalado en la Planta Concentradora de CIA Minera CASAPALCA. La planta concentradora tiene una capacidad de 5000 TMS/día, trabajando a total capacidad, 7 días por semana en tres turnos de 8 horas cada uno. Solo se paralizan la operación por 02 días cada 45 días, para realizar trabajos preventivos de mantenimiento.

La investigación de esta problemática nace a raíz de la necesidad de recuperar el concentrado de plomo que se va a las cochas de recuperación, producto del lavado de lonas; lo que demanda realizar trabajos adicionales de recuperación del concentrado de plomo. A su vez tener un control del tiempo en la etapa de secado, puesto que en esta etapa del proceso es en donde se usa una mayor demanda de aire comprimido.

Dentro de la investigación existen supuestos que permiten iniciarla, entre ellos se tiene que el consumo de aire será menor al actual, de esta forma también el suministro de aire para este proceso es constante. Los resultados de esta investigación que son enfocados a garantizar la eficiencia del proceso productivo de la extracción de minerales como el plomo. Los resultados, pueden ser aplicados en otros lugares, como en otros centros de producción minera; tal vez para aplicarlos en estos ámbitos se realicen cambios. También estas contribuciones ayudaran en futuras investigaciones como referencia o en mejoras que se realice a este sistema de control propuesto.

En el **Capítulo I** se presenta el planteamiento del problema, la formulación del problema y la justificación de la presente investigación. El capítulo concluye con los objetivos definidos.

En el **Capítulo II** se abordan los antecedentes nacionales e internacionales. Seguidamente se abordan temas teóricos que se utilizaron en la presente investigación, tales como: Conceptos de Instrumentación y Control, Controladores Lógicos Programables, Variadores de Frecuencia, Gestión de Proyectos con el enfoque del PMI, HMI de alto rendimiento, protocolo de comunicación EtherNet/IP y normas ISA-5.1 e ISA 101.

El **Capítulo III** se detalla la metodología usada. Se utilizó en la primera etapa la metodología descriptiva, en la cual se recopiló información de los stakeholders. En la segunda etapa experimental se comprueba la recopilación tomada. Luego se realiza la ingeniería del proyecto, definiendo el plan de proyecto. En la implementación del proyecto se elabora el Plano P&ID del proceso, diseño de Red Ethernet/IP, programación de controlador CompactLogix 1769-L30ER y programación de pantalla HMI.

En el **Capítulo IV** se concluye con los resultados obtenidos en la presente investigación.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente el proceso de filtrado de concentrado de plomo se viene realizando a través del filtro Sperry. La operación es en forma completamente manual, el cual presenta las siguientes dificultades:

- Se tiene un tiempo de filtrado por ciclo muy prolongado, aproximadamente entre 90 - 120 minutos (en comparación de los filtros de Cobre y Zinc aprox. una hora más).
- La descarga es completamente manual, es decir dos operadores deben jalar placa por placa y descargar las 70 placas del filtro, incrementando el tiempo de cada ciclo.
- Demanda mucho caudal de aire para el secado del concentrado lo cual también requiere mucha capacidad (compresores y pulmones) de aire.
- No cuenta con un sistema de lavado de placas, los operadores deben lavar placa por placa hasta completar las 70 para volver a iniciar el ciclo. Un mal lavado ocasiona fugas de aire y esto un alto porcentaje de humedad en la torta.
- El filtro no cuenta con recirculación de residuos de lavado de lonas y bandeja, todos estos residuos se envían directamente a las cochas de recuperación de concentrado; el cual genera un trabajo de recuperación adicional que demanda recursos tales como equipos y personal.
- El personal se expone a riesgos de accidentes ya que para el lavado de lonas sube sobre las placas pudiendo tener una caída a desnivel. Producto del lavado de lonas en temporadas de heladas se produce congelamiento en el piso, pudiendo ocasionar resbalones y caída del personal, de este último se tiene antecedentes registrados.

Asimismo, toda la electrónica actual es obsoleta por lo que de presentarse algún inconveniente no se podrá dar soporte y el filtro quedará inoperativo; parando el filtrado de concentrado de plomo y por ende conllevará a la parada de toda la planta.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar e implementar un sistema de automatización de un filtro prensa Sperry para la optimización del filtrado de concentrado de plomo para la planta concentradora de CIA Casapalca?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Con esta investigación se obtendrá un sistema de automatización de un filtro prensa marca SPERRY de concentrado de plomo, lo que permitirá que sea aplicado en otros ámbitos de la ciencia y tecnología. El desarrollo de un sistema como el propuesto es relativamente más barato a sistemas y soluciones que se incluyen en productos de alto costo, con la capacidad de poder reemplazarlos en un proceso de producción. El desarrollo de investigaciones para la actividad minera tiene un gran impacto en la sociedad peruana, por ser esta actividad una de los principales pilares del desarrollo económico social de los últimos años y del futuro, siempre y cuándo se respeten las normas y estándares internacionales para la producción. El desarrollo de un sistema como éste tiene una huella de carbono mucho más baja que otros sistemas y productos, la solución permite que se pueda seguir usando los mismos materiales aún operativos y usar un sistema que los haga eficientes para que su tiempo de vida sea llevado de la mejor forma.

1.4. HIPÓTESIS GENERAL

El diseño e implementación de un sistema de automatización de un filtro prensa Sperry permitirá optimizar la eficiencia de filtrado de concentrado de plomo para la planta concentradora de CIA Casapalca.

1.5. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Se recuperará la mayor cantidad de residuos de concentrado de plomo.
- Se reducirá los tiempos de filtrado por ciclo.
- Se optimizará la demanda de aire de secado del filtro Sperry.

1.6. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de automatización de un filtro prensa Sperry para la optimización del filtrado de concentrado de plomo para la planta concentradora de CIA Casapalca.

1.7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recuperar la mayor cantidad de residuos de concentrado de plomo.
- Reducir los tiempos de filtrado por ciclo.
- Optimizar la demanda de aire de secado del filtro Sperry.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES NACIONALES

En esta investigación se realizó el análisis de un modelo matemático para pronosticar el tiempo óptimo del ciclo en una operación de filtración. El objetivo fundamental, fue determinar el efecto que tiene el modelo matemático en el pronóstico del tiempo óptimo. El modelo matemático empleado para la predicción del tiempo óptimo, se generó de una ecuación matemática; que es resultado de la teoría convencional de la filtración con formación de torta a presión variable, que describe la evolución del volumen de filtrado en el tiempo, al cual se aplicó, el criterio de maximizar el volumen total de filtrado después de un tiempo de operación. Para el logro del objetivo, se realizaron pruebas de filtración de suspensiones de tierra diatomea, en una celda de pruebas para esta operación, y en un filtro prensa industrial. Con los datos experimentales de la celda de pruebas, se obtuvieron las constantes características para las suspensiones que se necesitan en el modelo matemático, para pronosticar el tiempo óptimo. Mientras que con los datos experimentales obtenidos en el filtro prensa, se determinó el tiempo óptimo para el mismo tipo de suspensión empleada en la celda de pruebas. Con todo ello, se comparó los resultados del tiempo óptimo pronosticado con el modelo, y los determinados con el filtro prensa. Finalmente, de la comparación y análisis de los resultados, y para los casos estudiados, se concluye que el tiempo óptimo de un ciclo de filtración, estimado con el modelo matemático basado en la teoría convencional, tiene como máximo un 1 % de diferencia respecto del calculado con el filtro prensa. Observando los datos, se nota un incremento de volumen de filtrado/área en el tiempo con el incremento de la presión inicial de la suspensión. Esto se verifica de acuerdo con

la ecuación que describe el flujo de fluido en un medio poroso, donde la velocidad de flujo es proporcional a la gradiente de presión en el medio poroso. Es decir que se obtendrá mayor velocidad de flujo de filtrado, cuando mayor es la gradiente de presión a través del medio poroso. El modelo matemático que describe el comportamiento de la filtración a presión variable, es una ecuación cuadrática adaptada de la teoría convencional de la filtración (Sanabria, 2015).

Se ha llevado a cabo el desarrollo de una interfaz-hombre máquina aplicada a una planta intercambiador de calor, con lo cual se ha demostrado que el entorno propuesto, debido a su capacidad visual, así como también por las librerías desarrolladas, permite la fácil adquisición de datos y muestra de resultados. La interfaz Hombre-Máquina desarrollada nos permite ofrecer información en tiempo real, acerca de las fallas ocurridas en las bombas y la válvula de la planta estudiada. La interfaz desarrollada ha sido diseñada lo más sencilla posible, de esta forma se tuvo una buena interacción simplificando las tareas que el usuario debe realizar, tales como supervisión de las variables, almacenamiento de datos, etc. Asimismo, se han propuesto librerías específicas para la interacción con el sistema de detección de fallas. Esta interfaz destinada al monitoreo y control de la planta, permite la interacción entre el usuario y la planta objeto de estudio. Mediante el control manual o automático es posible actuar sobre las variables del proceso (Orozco, 2013).

2.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

La motivación de las empresas por la mejora de la calidad de sus proyectos de automatización, así como las exigencias de los clientes, ha impulsado el interés de realizar investigaciones destinadas al desarrollo de métodos y técnicas, lo que implica la creación de una guía sistemática para que las organizaciones tengan un marco de referencia en el momento de gestionar de forma documentada sus proyectos. Project Management

Institute (PMI) es una asociación mundial dedicada al estudio y mejora continua en el campo de la gestión de proyectos, teniendo como principales objetivos formular estándares profesionales para su gestión y generar conocimientos a través de la investigación. El PMI ha creado la guía de los fundamentos para la dirección de proyectos PMBok (Project Management Body of Knowledge) que es una guía de prácticas para conseguir altos estándares en la gestión de los mismos, considerando de manera integral aspectos tales como alcance, tiempo, coste, calidad, riesgo, recursos, involucrados, etc. En esta tesis se presenta el desarrollo de una metodología de gestión de proyectos de automatización y control, partiendo de los lineamientos del PMBok. Se plantea un caso de estudio, cuyo objetivo es poner en práctica la metodología creada. El caso de estudio se trata del proyecto: Diseño e Implementación de un sistema SCADA del Área de Producción para una empresa de calzado. De igual manera, el presente trabajo pretende ayudar a la empresa Inasel Cía. Ltda. en la estandarización de la gestión de proyectos de ingeniería en automatización y control. Los resultados obtenidos de esta tesis han contribuido tanto a la empresa auspiciante Inasel como a la empresa de calzado, en cuanto a la disposición de un base de referencia secuencial y documentada para la gestión de proyectos y la capacidad de monitorear el proceso productivo del área de inyección de calzado, respectivamente. Se desarrolló un modelo de gestión para proyectos de ingeniería de automatización y control para el departamento de proyectos de la empresa Inasel, basado en la guía del PMBok, dando como resultado una estructura de gestión de proyectos confiable y sistematizada. La implementación del proyecto de ingeniería con la metodología propuesta, produjo grandes resultados en cuanto al alcance del sistema SCADA. La retroalimentación de cambios entre cliente – proveedor han sido documentados y aprobados por escrito, permitiendo validar el cumplimiento del alcance, al final del proyecto. La documentación de los cambios permite realizar una mejor gestión

del tiempo de manera integral, ya que por pequeño o sencillo que sea éste, va a intervenir en el plazo final de entrega del proyecto, como sucedía en experiencias anteriores donde los cambios no documentados retrasaban la entrega definitiva del proyecto. El seguimiento y control constante del proyecto mediante la generación de informes de rendimiento permitió re planificar anticipadamente las actividades y cumplir satisfactoriamente en cuanto a alcance, costo y calidad. La implementación de la metodología permitió transparentar la asignación de los recursos (trabajo, materiales, costo) a lo largo del proyecto, determinando de esta manera el costo real y por ende el beneficio. Anteriormente, la estimación de la rentabilidad del proyecto carecía de exactitud ya que los recursos usados no eran detallados, teniendo así un cálculo de la rentabilidad irreal. La implementación del sistema SCADA multipuesto en la empresa de calzado fue muy satisfactoria, puesto que la producción aumento en un 15% debido a la visualización de datos de producción, seguimiento y control de las pausas y tiempos de inactividad no programada de las máquinas utilizadas en cada turno de producción. Adicional se consiguió monitorear el proceso productivo desde el área de producción, mantenimiento y control de calidad. La guía del PMBok ha sido un gran referente para la elaboración de proyectos de ingeniería de automatización y trae consigo muy buenos resultados. Pero el hecho de que se pueda aplicar la metodología no quiere decir que sea recomendable en todos los casos. Se aprecia que no sería conveniente aplicar este tipo de metodología en proyectos pequeños o de costos menores debido al uso de recursos necesarios para cumplir con toda la metodología. El modelo de gestión de proyectos implementado posee una gran cantidad de entregables y el llenado de los mismos requiere de tiempo, entonces al aplicarlo a la empresa Inasel, considerando su estructura corporativa y mercado objetivo, se concluye que es conveniente que una persona se encargue de dirigir y gestionar los proyectos y que el equipo de ingeniería se mantenga

en el área técnica debido a las habilidades y destrezas ya desarrolladas. Se observó que el equipo del proyecto se va adaptando gradualmente con la metodología y su uso es más dinámico, debido a las directrices sistemáticas que posee la guía propuesta. La implementación de la metodología de proyectos bajo el estándar de la guía del PMBok en la empresa Inasel permitirá sentar las bases para obtener una certificación de calidad ISO (Benítez & Chérrez, 2015).

Para el año 2005, las condiciones de la infraestructura de automatización de las empresas del negocio Metales eran las siguientes: 1. Algunas áreas de planta tenían sistemas de control que en su momento fueron de vanguardia pero que ya habían llegado a su etapa de obsolescencia. Intermitentemente se provocaban paros de planta por problemas en los sistemas de control. 2. La mayor parte de los procesos se controlaban en forma manual soportados por instrumentación tradicional y sistemas de control muy limitados. 3. Las redes industriales para los sistemas de control eran obsoletas, poco confiables e inestables, además de que no cumplían estándares industriales. Intermitentemente se provocaban paros de planta por problemas en las redes de datos. 4. La mayor parte de los sistemas de control no guardaban un registro histórico de eventos, lo que no permitía el análisis estadístico de los del proceso, ni análisis de causa raíz en caso de paros de planta o problemas operativos. 5. Los sistemas de energía eléctrica y sistemas de tierras presentaban problemas que provocaban paros de planta. Como conclusiones de esta tesis se expone: Las experiencias que podemos compartir después de aproximadamente 5 años de trabajar en este importante y complejo proyecto son las siguientes: 1. Las inversiones en automatización son altamente rentables. 2. Los proyectos deben estar perfectamente alineados a los planes estratégicos del negocio. 3. El nivel de automatización de una empresa es un indicador significativo en su nivel de competitividad. 4. Se requiere trabajar en una forma profesional en la selección de

tecnologías de medición, control y optimización. 5. Los resultados de las inversiones en automatización deben reflejarse en los resultados financieros y operativos del negocio. 6. La automatización requiere de expertos en sus diferentes disciplinas (Morales, 2011).

El presente artículo aborda el proceso que se desarrolló para el diseño e implementación de la norma (Estándar) ANSI 101 para el diseño de un HMI (por sus siglas en inglés Human Machine Interface) de alto desempeño, sobre los módulos de instrumentación industrial de la universidad ECCI, sede Bogotá. Además, muestra algunos de los aspectos claves de la misma, su rango de aplicación y la importancia que tiene para el proceso formativo de los futuros ingenieros electrónicos y mecatrónicos de la facultad. Las HMI (interfaz hombre máquina) han estado siempre relacionadas con las investigaciones en torno al control, monitoreo y modelado de procesos en el sector industrial, como se observa en múltiples estudios documentados en espacios académicos como los artículos de la sociedad IEEE, estudios de tesis a nivel de pregrado y de posgrados y congresos que abordan esta temática. Las HMI de alto desempeño son el fruto de estudios realizados por más de 12 años sobre diferentes modelos de interfaces, que eran manejadas a diario por operarios pertenecientes a diferentes sectores productivos (Refinerías, industria química, minería entre otros); Con el transcurrir de los años estas HMI se han llegado a constituir en un elemento clave para los sistemas SCADA (por sus siglas en inglés de Supervisory Control And Data Acquisition), por consiguiente su adecuado funcionamiento ha sido determinante en la vida útil de todo el sistema SCADA. Es importante resaltar que las HMI de alto desempeño en comparación con las convencionales, está pensada en los operarios y su interacción con ellas, para dar mejor respuesta a los niveles más altos de la pirámide de automatización encargados de tomar decisiones administrativas que rigen el éxito de una compañía. Al hacer uso exclusivo de elementos gráficos de los elementos en dos dimensiones y no realizar animaciones

aumenta el rendimiento de los equipos de control en la medida que al no demandar recursos del procesador, le permite responder rápidamente a otras tareas lo que termina disminuyendo el tiempo en la transmisión de datos a los dispositivos de control (Bohórquez, Prado, & Ramirez, 2019).

2.3. CONCEPTOS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

La instrumentación ha permitido el avance tecnológico de la ciencia actual como la automatización de los procesos industriales; ya que la automatización es solo posible a través de elementos que puedan sentir o transmitir lo que sucede en el ambiente, para luego tomar una acción de control pre-programada que actúe sobre el sistema para obtener el resultado previsto. Los instrumentos pueden ser simples como transmisores, válvulas, sensores y pueden ser muy complejos como controladores, analizadores y amortiguadores (del Valle & Iturralde, 2017).

2.3.1. INSTRUMENTACIÓN

Es el conjunto de ciencias y tecnologías mediante las cuales se miden cantidades físicas o químicas con el objeto de obtener información para su archivo, evaluación o actuación sobre los Sistemas de Control Automático.

2.3.2. SISTEMA DE MEDICIÓN

Conjunto de elementos que forman un instrumento, capaz de convertir una variable física en una señal.

2.3.3. SEÑAL

Es aquella muestra física que puede ser medida ya sea variable o constante en el tiempo.

2.3.4. INDICADORES

Poseen una escala para expresar la equivalencia de los datos al operario, pueden ser manómetros, tensiómetros, entre otros.

2.3.5. TRANSMISOR

En el campo de la instrumentación y control es un equipo que emite una señal, código o mensaje a través de un medio que está conectado al sensor mediante conductores eléctricos.

2.3.6. CONTROLADORES

Es aquel instrumento que compara el valor medido con el valor deseado, en base a esta operación calcula un error, para luego actuar con el fin de corregir el error.

2.3.7. TRANSDUCTORES

Reciben una señal de entrada en función de una o más cantidades físicas y la convierten modificada a una señal de salida.

2.3.8. RANGO

Se define como el intervalo comprendido entre el valor mínimo y máximo que el instrumento puede medir, transmitir o indicar.

2.3.9. LINEALIDAD

Es la característica que define que tanto se acerca la curva de calibración del instrumento a una línea recta.

2.3.10. PRECISIÓN

Capacidad de un instrumento de entregar el mismo valor para la magnitud medida al realizar varias mediciones y en unas mismas condiciones.

2.3.11. ERROR

Es la diferencia entre la salida real y la salida ideal. El error se puede expresar como un porcentaje de la lectura.

2.3.12. EXACTITUD

Es la capacidad de un instrumento de medición de dar indicaciones que se aproximen al valor verdadero de la magnitud medida (del Valle & Iturralde, 2017).

2.4. INSTRUMENTOS EN FUNCIÓN DE LA VARIABLE DE PROCESO

Expresados en función de la variable del proceso, los instrumentos se dividen en instrumentos de caudal, nivel, presión, temperatura, densidad y peso específico, humedad y punto de rocío, viscosidad, posición, velocidad, pH, conductividad, frecuencia, fuerza, turbidez, etc. Esta clasificación corresponde específicamente al tipo de las señales medidas siendo independiente del sistema empleado en la conversión de la señal de proceso. De este modo, un transmisor electrónico o digital de temperatura del tipo de bulbo y capilar es un instrumento de temperatura a pesar de que la medida se efectúa convirtiendo las variaciones de presión del fluido que llena el bulbo y el capilar; el aparato receptor de la señal electrónica o digital del transmisor anterior es un instrumento de temperatura, si bien, al ser receptor electrónico o digital lo podríamos considerar instrumento de presión, caudal, nivel o cualquier otra variable, según fuera la señal medida por el transmisor correspondiente; un registrador potenciométrico puede ser un instrumento de temperatura, de conductividad o de velocidad, según sean las señales medidas por los elementos primarios de termopar, electrodos o dínamo. Asimismo, esta

clasificación es independiente del número y tipo de transductores existentes entre el elemento primario y el instrumento final. Así ocurre en el caso de un lazo de control de nivel compuesto por un transmisor digital de nivel, un receptor controlador con salida de 4-20 mA c.c., un convertidor intensidad-presión (I/P) que transforma la señal de 4-20 mA c.c. a neumática de 3-15 psi y la válvula neumática de control; todos estos instrumentos se consideran de nivel. En la designación del instrumento se utilizan, en el lenguaje común, las dos clasificaciones expuestas anteriormente. Y de este modo, se consideran instrumentos tales como transmisores ciegos de presión, controladores registradores de temperatura, receptores indicadores de nivel, receptores controladores registradores de caudal, etc. Los instrumentos se consideran instrumentos de campo y de panel. La primera designación incluye los instrumentos locales situados en el proceso o en sus proximidades (es decir, en tanques, tuberías, secadores, etc.), mientras que la segunda se refiere a los instrumentos montados en paneles, armarios o pupitres situados en zonas aisladas o en zonas del proceso (Creus, 2011).

2.5. FILTRO SPERRY

Un filtro prensa Sperry tiene una valorización económica menor que otros dispositivos, pero con un alto rendimiento para la separación de los líquidos de sólidos, está constituido de dos componentes; un marco que está formado por una estructura base y la parte fundamental constituida por placas, sin ningún tipo de método de automatización, control, operación o construcción, el proceso de filtrado es posible por las placas de sujeción y también es posible al bombeo de la mezcla sometida bajo presión en los espacios formados entre las placas cerradas ya descritas; la filtración procede en el momento en que el espacio formado entre placas llega al tope de material o se alcanza una presión preestablecida previamente configurada, el índice de la filtración depende de la presión de alimentación, espesor del material o también llamado pasta, también

depende de la temperatura de la mezcla y la viscosidad de la misma, la característica del material sólido y características del filtro (Bustillo, Crespo, Calvo, & Pozo, 2018).

Figura 2.1: Filtro Sperry



Fuente: (R&D-Equipment, 2019)

2.6. PLANTA CONCENTRADORA

En breve se describe las operaciones en la planta concentradora BERNA II, el mineral procedente de Mina llega en volquetes cuyo peso se controla en una balanza con capacidad de 80 Toneladas, luego el mineral se traslada a la tolva de gruesos donde se inicia el proceso, si la tolva está saturada se deposita en las canchas de acumulación.

- **Chancado:** En esta fase se tritura el mineral hasta un tamaño de 1/2" que se acumula en la tolva de finos y en el stock pile para luego alimentar a la sección molienda. La preparación mecánica del mineral se hace reduciendo gradualmente el tamaño en cada etapa del chancado, para tal fin contamos con cuatro chancadoras: una primaria de mandíbula C-110 y las tres restantes son tipo Cónica HP – 400 también contamos con zarandas vibratorias para la clasificación de tamaños y para el transporte de mineral se usa faja transportadora.

Figura 2.2: Proceso de chancado.



Fuente: (CIA-Casapalca, 2014)

Figura 2.3: Proceso de chancado.



Fuente: (CIA-Casapalca, 2014)

Figura 2.4: Proceso de chancado.



Fuente: (CIA-Casapalca, 2014)

- **Molienda:** el mineral reducido a menos 1/2" se alimenta a través de una faja transportadora a los molinos de bolas primarios 14' x 23.75' y 12.5' x 16' para luego ser clasificados en las Zarandas de Alta Frecuencia. Además, se cuenta con molinos de bolas de remolienda 12.5' x 14', 7' x 10' y 6' x 6' en los cuales se continúa la molienda del mineral a fin de liberar las especies mineralógicas y poder separarlos para obtener concentrados con grado comerciales, este proceso se realiza mezclando el mineral con agua para obtener una pulpa con densidad adecuada.

Figura 2.5: Molino Primario 14' x 23.75' y molino remolienda 12.5' x 14'.



Fuente: (CIA-Casapalca, 2014)

Figura 2.6: Zaranda De Alta Frecuencia.

Fuente: (CIA-Casapalca, 2014)

- **Flotación:** En esta etapa se separan las especies mineralógicas por tipos de concentrados se lleva a cabo en celdas de flotación conjugándose varios parámetros como son: Reactivos, Densidad, Agitación, PH, Aire, nivel de espumas, etc. Se cuenta con tres circuitos de flotación: El primer circuito es BULK, donde se obtiene un concentrado de Plomo-Cobre por flotación, que luego serán separados, en este proceso se deprime el Zinc. El segundo circuito pasa por la separación Cobre – Plomo: en este circuito se obtiene los concentrados de plomo y cobre empleándose el método de Bicromato para mineral de Vetas y de cianuro para mineral de Cuerpos. Finalmente, el circuito de zinc, en este circuito se reactiva el Zinc y se obtiene el concentrado respectivo, las colas de este circuito constituye el relave final que se almacena en la cancha de relave N° 3.

Figura 2.7: Celdas de Flotación.



Fuente: (CIA-Casapalca, 2014)

- **Espesamiento de relave y recuperación de agua:** en esta etapa el relave final ingresa al espesador de relave de 27m, en el cual se adiciona floculante para sedimentar los sólidos y recuperar el agua en el rebose del espesador, los sólidos del espesador se envían a la relavera N° 3 con 52 % de sólidos. El agua recuperada se acumula en la poza de 5m x 5m x 9m y desde la cual se bombea al reservorio de la planta concentradora, la cual alimenta a toda nuestra operación.

Figura 2.8: Espesamiento de relave.



Fuente: (CIA-Casapalca, 2014)

Figura 2.9: Recuperación de agua.



Fuente: (CIA-Casapalca, 2014)

- **Espesamiento y filtrado:** etapa final del proceso, los diferentes concentrados obtenidos se depositan en tanques espesadores donde se elimina el agua que acompaña a los concentrados, el concentrado sólido sedimenta y el agua rebosa por la parte superior del tanque, luego la carga (Concentrado) con alta densidad se alimenta a los Filtro Prensa para eliminar el agua hasta obtener un concentrado con humedades de 6 – 8 % H₂O que posteriormente son despachados a los diferentes depósitos y/o minerías.

Figura 2.10: Filtro Prensa.



Fuente: (CIA-Casapalca, 2014)

2.7. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE “PLC”

Controlador Lógico Programable es un dispositivo electrónico de control de procesos y se basa en una lógica, definida a través de un programa de computación (Vuistaz, Nieva, & ReDDI, 2018).

Figura 2.11: Controlador Lógico Programable.



Fuente:(Vuistaz, 2018)

2.7.1. FUNCIONAMIENTO DE UN PLC

Para poder explicar el funcionamiento de un PLC es necesario definir primeramente las partes: Interfaces de entradas y salidas, CPU (Unidad Central de Proceso), Memoria, Dispositivos de Programación al PLC se le ingresa el programa a través del dispositivo adecuado (un cargador de programa o PC) y éste es almacenado en la memoria de la CPU lo que constituye el programa que va a ejecutar el controlador durante su funcionamiento.

La CPU, constituye el "cerebro" del PLC, procesa la información que recibe del exterior proveniente de los distintos sensores a través de la interfaz de entrada y de

acuerdo con el programa, emite una salida a través de la interfaz de salida con la que se logra actuar sobre el proceso.

En los módulos de entrada pueden ser conectados distintos dispositivos externos tales como:

- Sensores inductivos, capacitivos, ópticos
- Interruptores
- Pulsadores
- Llaves
- Finales de carrera
- Detectores de proximidad

En los módulos de salida pueden ser conectados dispositivos externos para actuar directamente en el proceso tales como:

- Contactores
- Electroválvulas
- Variadores de velocidad
- Alarmas

La CPU funciona cíclicamente ejecutando el programa, al comenzar el ciclo, la CPU lee el estado de las señales de entrada, seguido ejecuta el programa a continuación la CPU ejecuta tareas internas de diagnóstico y comunicación, ya al final del ciclo se actualizan las señales de salidas con las que se actúa sobre el proceso. El tiempo del ciclo

depende del tamaño y complejidad del programa del programa, del número de entradas y salidas y de la cantidad de comunicación requerida (Petruzella, 2016).

2.7.2. ESTRUCTURA DEL PLC

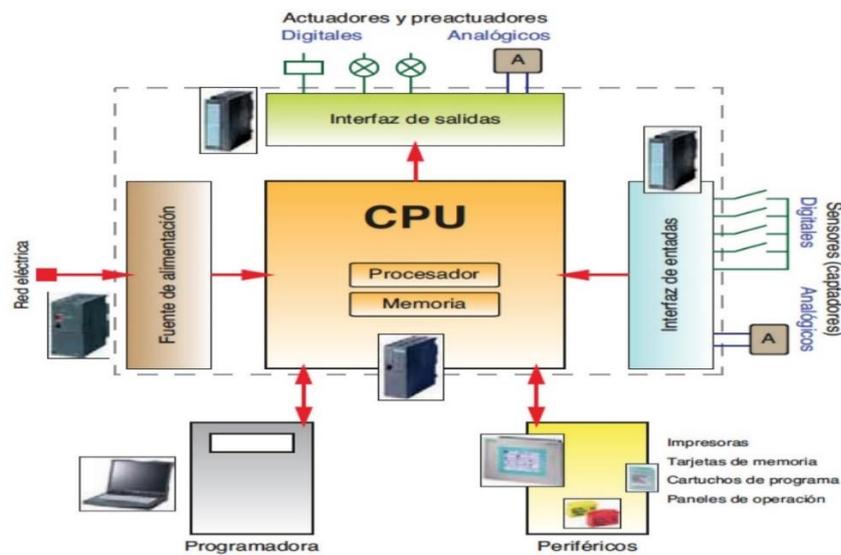
Este dispositivo consta de 2 partes principales:

Hardware: Parte física, tangible del dispositivo, donde se encuentran alojados los distintos bloques que hacen posible el correcto funcionamiento del PLC, como por ejemplo la batería, los módulos de memoria, los módulos de entradas y salidas análogas y/o digitales, etc. (Erickson, 2016).

Software: Correspondiente a la parte no tangible, es decir, los programas cargados en los bloques de memoria, así como también las instrucciones alojadas en la memoria ROM del sistema (Erickson, 2016).

Analizamos al PLC por su estructura:

- **Estructura interna del PLC:** Compuesta de dispositivos electrónicos para poder alojar las instrucciones básicas del funcionamiento del PLC, así como las unidades para procesar instrucciones de un programa precargado y realizar las tareas especificadas en él (Rabiee, 2017).

Figura 2.12: Estructura interna de un PLC

Fuente:(Clark, 2018)

- **Estructura externa de un PLC:** Como lo indica, es lo correspondiente a los módulos de entradas y salidas digitales, fuente de poder, carcasa, indicadores led; contiene los elementos netamente tangibles del PLC (Rabiee, 2017).

2.8. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES ALLEN-BRADLEY

Los controladores programables Allen-Bradley están desarrollados y soportados por Rockwell Automation, son soluciones de control que establecen el estándar: desde el controlador lógico programable (PLC) original inventado en la década del 70 hasta la tecnología incorporada en el controlador programable de automatización (PAC) escalable, multidisciplinario y habilitado para información. Estos controladores tienen certificación de seguridad y satisfacen las necesidades de aplicaciones SIL 2 y SIL 3. Existen varios tipos y tamaños de controladores para satisfacer necesidades específicas("Rockwell Automation," 2019).

2.8.1. SISTEMAS DE CONTROL DE ALTAS PRESTACIONES

Los sistemas de control de altas prestaciones satisfacen sus necesidades de aplicación más exigentes. Ofrecen arquitecturas modulares y un rango de opciones de E/S y red. Estas poderosas soluciones de control ofrecen capacidades de primer nivel tales como procesos, seguridad y movimiento. Los controladores programables de automatización (PAC) de gran tamaño, diseñados para aplicaciones de control distribuidas o de supervisión, proporcionan confiabilidad y rendimiento excepcionales. Se tiene los siguientes productos para este caso:

- Sistemas de control ControlLogix.
- Sistemas de control de seguridad GuardPLC.
- Sistemas de control SoftLogix.

2.8.2. CONTROLADOR COMPACTLOGIX 5370

Los controladores CompactLogix™ 5370 ofrecen lo más reciente en elementos de control, comunicación y E/S, en un paquete de control distribuido. Esta familia de productos incluye los siguientes controladores CompactLogix 5370:

- 1769-L16ER-BB1B
- 1769-L18ER-BB1B
- 1769-L18ERM-BB1B
- 1769-L19ER-BB1B
- 1769-L24ER-QB1B
- 1769-L24ER-QBFC1B
- 1769-L27ERM-QBFC1B

- 1769-L30ER
- 1769-L30ERM
- 1769-L30ER-NSE
- 1769-L33ER
- 1769-L33ERM
- 1769-L33ERMO
- 1769-L36ERM
- 1769-L36ERMO
- 1769-L37ERMO(1)

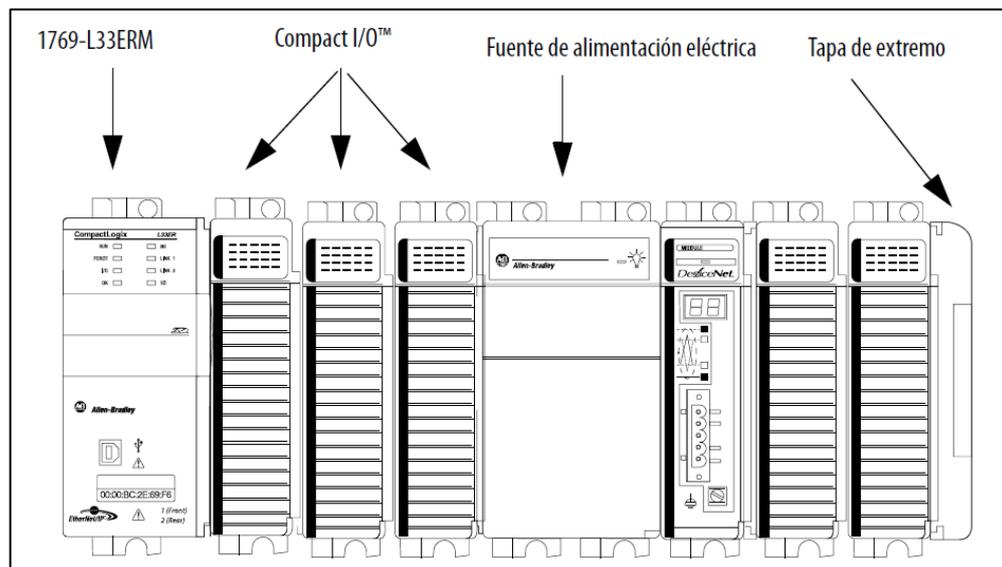
Algunas de las funciones compatibles con los controladores CompactLogix 5370 son dos puertos EtherNet/IP en cada controlador y compatibilidad con movimiento integrado sobre una red EtherNet/IP en algunos controladores CompactLogix 5370 ("CompactLogix Controllers Specifications," 2018).

Consideraciones para planificar su sistema de control CompactLogix™ 5370 L3:

- El controlador es siempre el dispositivo del extremo izquierdo en el sistema.
- Solo un controlador puede usarse en un 1769 CompactBus local.
- El controlador acepta el banco local y hasta dos bancos adicionales.
- El controlador tiene una clasificación de distancia con respecto a la fuente de alimentación eléctrica de cuatro. Esta clasificación significa que el controlador debe estar dentro de cuadro ranuras de la fuente de alimentación. Puede instalar hasta tres

módulos entre la fuente de alimentación y el controlador, tal como se muestra en el gráfico siguiente.

Figura 2.13: CompactLogix™ 5370 L3.



Fuente: ("CompactLogix Controllers Specifications," 2018).

Para mayores detalles se puede revisar el Anexo A.

2.9. VARIADORES DE FRECUENCIA ABB

El variador de frecuencia es un dispositivo industrial que trabaja como regulador de velocidad para motores eléctricos. La energía de la red pasa por el variador y hace que la electricidad que llega al motor se ajuste a la demanda real de la aplicación, reduciendo el consumo energético del motor entre un 20% y un 70%, incluso llega al 90% en casos extremos.

Al variador de frecuencia también se le denomina convertidor de frecuencia, convertidor de velocidad, variador de velocidad, VSD, VFC o VFD por sus siglas en inglés o simplemente variador o convertidor.

Estos variadores se establecen en un negocio para mejorar la eficiencia y el rendimiento, sobre todo a la hora de conseguir mayor competitividad. Estos variadores de frecuencia son flexibles para ayudar a optimizar todos los procesos y su control, y

fiables para reducir las paradas inesperadas en múltiples industrias y aplicaciones de variadores de frecuencia.

Además, desde el momento de adquisición del variador de frecuencia hasta el fin de su vida útil, ABB le ofrece servicios personalizados para mejorar el rendimiento de sus variadores de frecuencia y maximizar su disponibilidad("ABB," 2019).

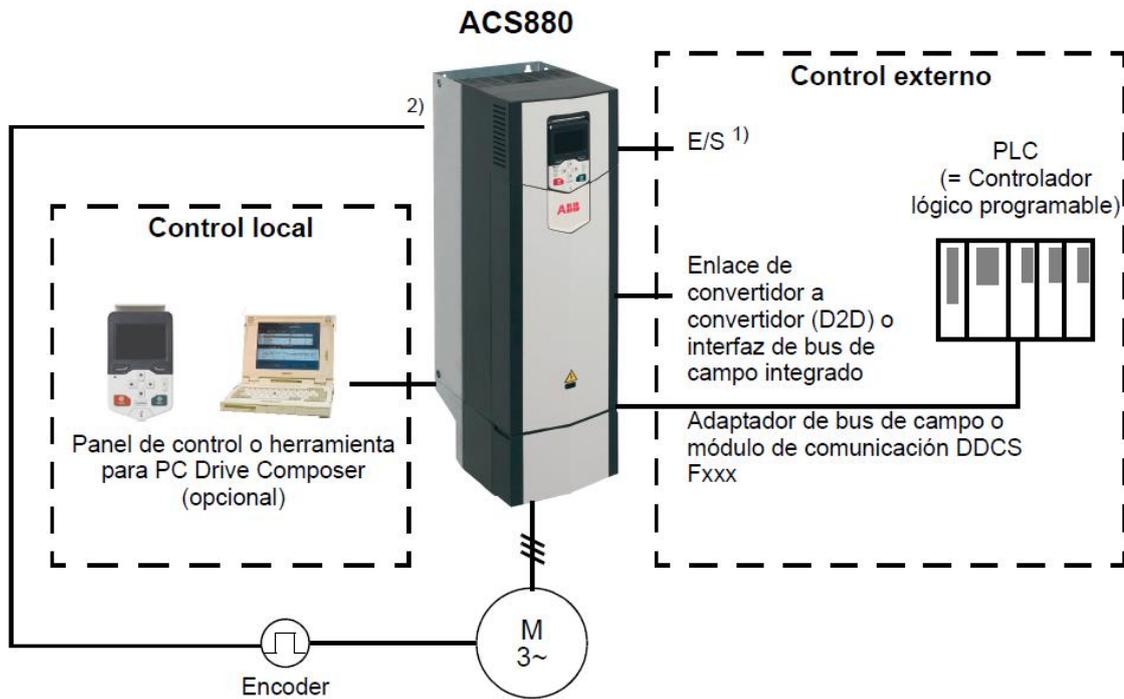
La red mundial de ventas y servicio de variadores de frecuencia de ABB es global, pero tiene presencia local, lo que le permite prestar servicios en cualquier lugar y en cualquier momento que lo necesite. La gama de variadores de frecuencia ofrece:

- Variadores de frecuencia de corriente alterna (CA) y corriente continua (CC) de baja tensión y corriente alterna de media tensión.
- Para todo tipo de industrias y aplicaciones, desde máquinas simples hasta soluciones de control de movimiento y automatización de procesos.
- Intervalo de potencia desde 0,18 kW hasta 100 MW.
- Compatibilidad con distintos motores y sistemas de automatización.

2.10. VARIADOR ACS880 DE ABB

El convertidor puede funcionar en varios modos de funcionamiento con distintos tipos de referencias. El modo puede seleccionarse en cada ubicación de control (Local, EXT1 y EXT2) con el grupo de parámetros 19 Modo Operación.

Figura 2.14: Convertidor ACS880 de ABB.



Fuente:(ABB, 2012).

A continuación, aparece una representación general de los tipos de referencias y las cadenas de control. Los números de página se refieren a los diagramas detallados del capítulo dentro de la hoja de datos del dispositivo denominada Diagramas de la cadena de control (ABB, 2012).

2.10.1. MODO DE CONTROL DE VELOCIDAD

El motor sigue una referencia de velocidad indicada al convertidor. Este modo puede utilizarse bien con la velocidad estimada empleada como realimentación o con un encoder o resolver para un control de velocidad más preciso. El modo de control de velocidad está disponible tanto con control local como externo. También está disponible en los modos de control de motor DTC (control de par directo) y escalar.

2.10.2. MODO DE CONTROL DE FRECUENCIA

El motor sigue una referencia de frecuencia indicada al convertidor. El control de frecuencia sólo está disponible para el control escalar del motor.

2.10.3. MODOS DE CONTROL ESPECIALES

Además de los modos de control antes mencionados, existen los siguientes modos de control especiales:

- Control PID de proceso. Para más información, véase el apartado Control PID de proceso.
- Modos de paro de emergencia OFF1 y OFF3: El convertidor se detiene siguiendo la rampa de deceleración definida y cesa la modulación del convertidor.
- Modo de avance lento: El convertidor se pone en marcha y acelera hasta la velocidad definida cuando se activa la señal de avance lento. Para más información, véase el apartado Avance lento.

2.11. GESTIÓN DE PROYECTOS

En administración de empresas, la gestión de proyectos es la disciplina que estudia el planeamiento, la organización, la motivación y el control de los recursos con el propósito de alcanzar uno o varios objetivos. Un proyecto es un emprendimiento temporal diseñado a producir un único producto, servicio o resultado con un principio y un final definidos (normalmente limitado en tiempo, en costos y/o entregables), que es emprendido para alcanzar objetivos únicos y que dará lugar a un cambio positivo o agregará valor.

La naturaleza temporal de los proyectos se contrapone con las operaciones normales de cualquier organización, las cuales son actividades funcionales repetitivas,

permanentes o semipermanentes que hacen a los productos o al servicio. En la práctica, la gestión de estos dos sistemas suele ser muy distintos, y requieren el desarrollo de habilidades técnicas y gestión de estrategias diferentes.

El primer desafío para la gestión de proyectos es alcanzar la meta del proyecto, y los objetivos dentro de las limitantes conocidas. Las limitantes o restricciones primarias son el alcance, el tiempo, la calidad y el presupuesto. El desafío secundario, y el más ambicioso de todos, es optimizar la asignación de recursos de las entradas necesarias e integrarlas para alcanzar los objetivos predefinidos. Existen muchos más limitantes que dependen de la naturaleza del proyecto, de seguridad, relacionadas con el medio ambiente, relacionados con la oportunidad de negocio y otras muchas de tipo estratégico de compañía.

El éxito de un proyecto se corresponde con la consecución de los objetivos de alcance, plazos, coste y calidad mediante una gestión integrada de los mismos (Garriga Rodríguez, 2018).

Los resultados de estos proyectos surgieron de la aplicación por parte de líderes y directores, de prácticas, principios, procesos, herramientas y técnicas de dirección de proyectos en su trabajo. Los directores de estos proyectos utilizaron un conjunto de habilidades clave y aplicaron conocimientos para satisfacer a sus clientes y a otras personas involucradas y afectadas por el proyecto. A mediados del siglo XX, los directores de proyecto iniciaron la tarea de buscar el reconocimiento de la dirección de proyectos como profesión. Un aspecto de esta tarea suponía llegar a un acuerdo sobre el contenido de los fundamentos para la dirección de proyectos (BOK, por las siglas en inglés de Body of Knowledge) llamado dirección de proyectos. Este conjunto de conocimientos luego se conocería como los Fundamentos para la Dirección de Proyectos

(PMBOK). El Project Management Institute (PMI) produjo una línea base de diagramas y glosarios para el PMBOK. Los directores de proyecto pronto comprendieron que un solo libro no podría contener el PMBOK completo. Por lo tanto, el PMI desarrolló y publicó la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos. El PMI define los fundamentos para la dirección de proyectos (PMBOK) como un término que describe los conocimientos de la profesión de dirección de proyectos. Los fundamentos para la dirección de proyectos incluyen prácticas tradicionales comprobadas y ampliamente utilizadas, así como prácticas innovadoras emergentes para la profesión. Los fundamentos incluyen tanto material publicado como no publicado. Estos fundamentos están en constante evolución. Se identifica un subconjunto de fundamentos para la dirección de proyectos generalmente reconocido como buenas prácticas. Generalmente reconocido significa que las prácticas y los conocimientos descritos son aplicables a la mayoría de los proyectos, la mayoría de las veces, y que existe consenso sobre su valor y utilidad. Buenas prácticas, significa que existe consenso general acerca de que la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a los procesos de dirección de proyectos puede aumentar la posibilidad de éxito de una amplia variedad de proyectos para entregar los resultados y los valores del negocio esperados. El director del proyecto trabaja con el equipo del proyecto y otros interesados para determinar y utilizar las buenas prácticas reconocidas a nivel general adecuadas para cada proyecto. Determinar la combinación adecuada de procesos, entradas, herramientas, técnicas, salidas y fases del ciclo de vida para dirigir un proyecto se denomina “adaptar” la aplicación de los conocimientos descritos en esta guía (PMI, 2017).

2.12. LA IMPORTANCIA DE LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS

La dirección de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo. Se logra mediante la aplicación e integración adecuadas de los procesos de dirección de proyectos identificados para el proyecto. La dirección de proyectos permite a las organizaciones ejecutar proyectos de manera eficaz y eficiente. Una dirección de proyectos eficaz ayuda a individuos, grupos y organizaciones públicas y privadas (PMI, 2017).

- Cumplir los objetivos del negocio;
- Satisfacer las expectativas de los interesados;
- Ser más predecibles;
- Aumentar las posibilidades de éxito;
- Entregar los productos adecuados en el momento adecuado;
- Resolver problemas e incidentes;
- Responder a los riesgos de manera oportuna;
- Optimizar el uso de los recursos de la organización;
- Identificar, recuperar o concluir proyectos fallidos;
- Gestionar las restricciones (alcance, calidad, cronograma, costos, recursos);
- Equilibrar la influencia de las restricciones en el proyecto (un mayor alcance puede aumentar el costo o cronograma); y
- Gestionar el cambio de una mejor manera.

Los proyectos dirigidos de manera deficiente o la ausencia de dirección de proyectos pueden conducir a lo siguiente (PMI, 2017).

- Incumplimiento de plazos,
- Sobrecostos,
- Calidad deficiente,
- Retrabajo,
- Expansión no controlada del proyecto,
- Pérdida de reputación para la organización,
- Interesados insatisfechos, e
- Incumplimiento de los objetivos propuestos del proyecto.

2.13. RELÉ DE SOBRECARGA E1 PLUS

Mientras que los relés de sobrecarga electromecánicos pasan la corriente del motor a través de elementos de calentamiento para proporcionar una simulación indirecta del calentamiento del motor, el relé de sobrecarga E1 Plus mide directamente la corriente del motor. La protección contra sobrecarga basada en medidas modela con mayor precisión la condición térmica de un motor. Además, la temperatura ambiente no afecta el rendimiento de los diseños actuales basados en mediciones sobre el rango operativo de temperatura especificado. El modelado térmico se realiza electrónicamente con componentes de estado sólido de precisión, donde en el corazón del relé de sobrecarga E1 Plus hay un circuito integrado de aplicación específica (ASIC). El ASIC procesa continuamente los datos de corriente del motor para mantener con precisión el estado de tiempo-corriente del valor de utilización de la capacidad térmica del motor. Un circuito de memoria térmica permite que el relé de sobrecarga E1 Plus modele los efectos de calentamiento y enfriamiento de los períodos de encendido y apagado del motor. Esto logra una protección precisa tanto para motores fríos como calientes.

Un circuito de detección de pérdida de fase separado que se incorpora en el relé de sobrecarga E1 Plus le permite responder rápidamente a las condiciones de pérdida de fase; El tiempo de reacción típico es de 3 segundos. El diseño autoalimentado significa que el relé de sobrecarga E1 Plus se instala de la misma manera que los relés de sobrecarga tradicionales. Configure el dispositivo marcando el potenciómetro de ajuste a la clasificación FLA del motor. El bajo consumo de energía del diseño electrónico minimiza los problemas de aumento de temperatura dentro de los gabinetes de control. Un amplio rango de ajuste 5: 1 requiere la mitad de los números de catálogo que la alternativa bimetálica para cubrir el mismo rango actual. Esto ayuda a reducir los costos de transporte de inventario y ofrece una mayor flexibilidad de instalación para máquinas

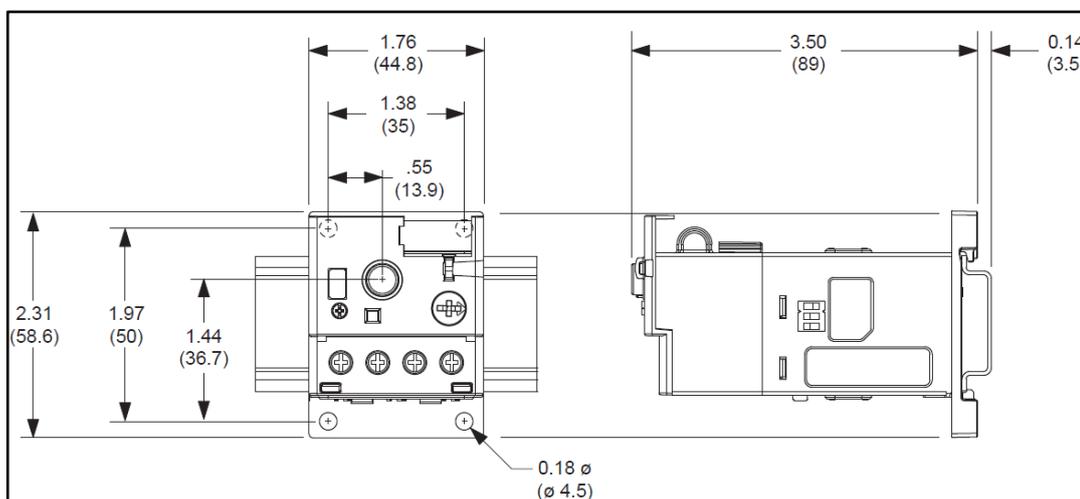
de doble voltaje. Las marcas de ajuste de espaciado uniforme aumentan la facilidad de configuración de la instalación. Las exclusivas conexiones de alimentación sobre moldeadas en el lado de la línea crean un robusto conjunto de arranque de dos componentes que no tiene comparación en la industria.

Las conexiones de alimentación preformadas permiten un fácil montaje del arrancador, siempre. Los transformadores de corriente se aseguran por separado en la carcasa de sobrecarga para ofrecer el mayor grado de resistencia a las condiciones de choque y vibración. Las laminaciones barnizadas ofrecen un rendimiento constante y proporcionan protección adicional contra la corrosión. El diseño robusto del relé de enclavamiento bipolar proporciona un rendimiento confiable de disparo y reinicio para las aplicaciones más exigentes. El relé autocerrado ofrece protección ambiental adicional para su uso en aplicaciones industriales. La configuración de contacto aislada permite que N.C. y N.O. contactos para ser aplicados en circuitos que operan a diferentes niveles de voltaje y sin restricciones de polaridad. La clasificación de contacto B600 permite la aplicación en circuitos que tienen una clasificación de 600V.

Los dispositivos 193-EE ofrecen configuraciones de interruptor DIP para seleccionar la clase de disparo (10, 15, 20 o 30) y el modo de reinicio (manual o automático), lo que hace que estos dispositivos sean versátiles. El E1 Plus Pass-thru consume un 48% menos de espacio en el panel que un E1 Plus estándar montado en un adaptador de montaje en panel. El diseño proporciona un montaje integrado en riel DIN y orificios de montaje en panel y está destinado a las siguientes aplicaciones: aplicaciones de montaje en panel y riel DIN, mini contactor Boletín 100-K, transformadores de corriente externos y para uso con contactores que no sean de Allen-Bradley. El E1 Plus Pass-thru Electronic Overload Relay proporciona la misma protección expandible y capacidades de comunicación que un E1 Plus estándar, pero no requiere un adaptador de

montaje en panel separado, lo que ahorra dinero y valioso espacio en el panel (Allen-Bradley, 2016).

Figura 2.15: Dimensiones aproximadas de E1 Plus Pass-thru Electronic Overload Relay.



Fuente:(Allen-Bradley, 2016).

2.14. HMI DE ALTO RENDIMIENTO

Hace casi tres décadas, controlamos que a los ingenieros se les asignó una nueva tarea para la que no estábamos preparados. Instalamos sistemas de control con la capacidad de mostrar gráficos de control de procesos en tiempo real para el operador. Pero las pantallas estaban en blanco, y fuimos responsables de llenarlas.

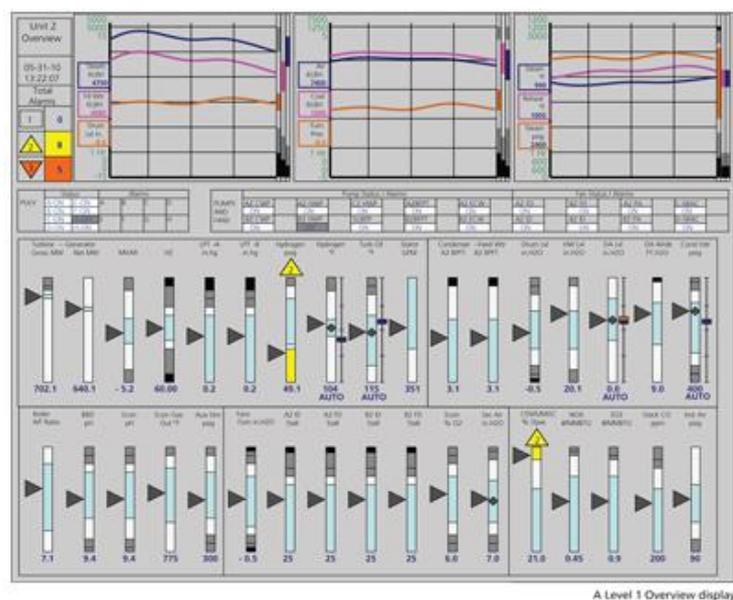
No teníamos pautas disponibles sobre lo que constituía un "buen" gráfico. Entonces, hicimos lo mejor que pudimos con lo que sabíamos, ¡lo cual no fue mucho! Como resultado, establecimos un paradigma de bajo rendimiento de cómo debería ser una interfaz hombre-máquina (HMI) del sistema de control, y la inercia ha hecho el resto. Principalmente por conveniencia, elegimos representar el proceso como una vista de P&ID cubierta con números en vivo. Nos apegamos a ese paradigma incluso cuando las capacidades gráficas de los sistemas DCS / SCADA mejoraron, principalmente migrando en lugar de rediseñando las pantallas. Ahora, decenas de miles de operadores en todo el

mundo controlan procesos multimillonarios observando dibujos animados primitivos diseñados en un momento en que realmente no sabíamos lo que estábamos haciendo.

Los HMI de bajo rendimiento se han citado como factores que contribuyen significativamente a los accidentes mayores. Los principios para diseñar gráficos de proceso adecuados ya están disponibles. Una HMI de alto rendimiento (HPHMI) tiene muchas ventajas, que incluyen una mejor conciencia de la situación del operador y vigilancia del proceso, una mejor detección y respuesta de la situación anormal y un tiempo de capacitación reducido para los nuevos operadores. Muchas empresas industriales tienen en marcha esfuerzos de mejora gráfica.

Las pantallas de alto rendimiento muestran información. La información es información, en contexto, hecha útil. Los gráficos HPHMI muestran no solo el valor del proceso, sino también dónde está relacionado con "lo que es bueno". Las condiciones anormales están diseñadas para destacarse claramente. El color se usa de manera consistente, efectiva y con moderación. Los gráficos están diseñados con una jerarquía adecuada (Hollifield, 2012).

Figura 2.16: Pantalla HMI con vista general de nivel 1.



Fuente: (Hollifield, 2012)

2.15. PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN ETHERNET/IP

EtherNet/IP se introdujo en 2001 y hoy es la solución de red Ethernet industrial más desarrollada, probada y completa disponible para la fabricación y la automatización de procesos. EtherNet/IP es miembro de una familia de redes que implementa el Protocolo Industrial Común (CIP) en sus capas superiores. CIP abarca un conjunto integral de mensajes y servicios para una variedad de aplicaciones de fabricación y automatización de procesos, que incluyen control, seguridad, sincronización, movimiento, configuración e información. Como un protocolo verdaderamente independiente de los medios que es compatible con cientos de proveedores de todo el mundo, CIP ofrece a los usuarios una arquitectura de comunicación unificada en toda la empresa de fabricación. Con la independencia de los medios, viene la posibilidad de elegir la red CIP más adecuada para cada aplicación. Una de estas posibles opciones es EtherNet/IP, que adapta CIP a la tecnología Ethernet. Ethernet y TCP/IP, el estándar de Ethernet, es la misma tecnología de red utilizada en la mayoría de las arquitecturas de red de área local (LAN) y de red de área amplia (WAN) que se encuentran en aplicaciones comerciales en todo el mundo. Estas arquitecturas conectan computadoras y periféricos entre sí, vincula las operaciones comerciales con la empresa, brinda a los usuarios acceso a aplicaciones basadas en la web y tiene una numeración de base instalada en miles de millones de nodos. Al aprovechar las economías de escala en esta tecnología comercial comprobada, EtherNet/IP proporciona a los usuarios las herramientas para implementar tecnología Ethernet estándar para aplicaciones de fabricación y procesos, mejorando la conectividad entre personas, socios y procesos, dispositivos, departamentos y sistemas en aplicaciones industriales, y abre nuevas oportunidades de productividad, eficiencia y flexibilidad.

EtherNet/IP ofrece varias ventajas únicas para aplicaciones de fabricación y automatización de procesos:

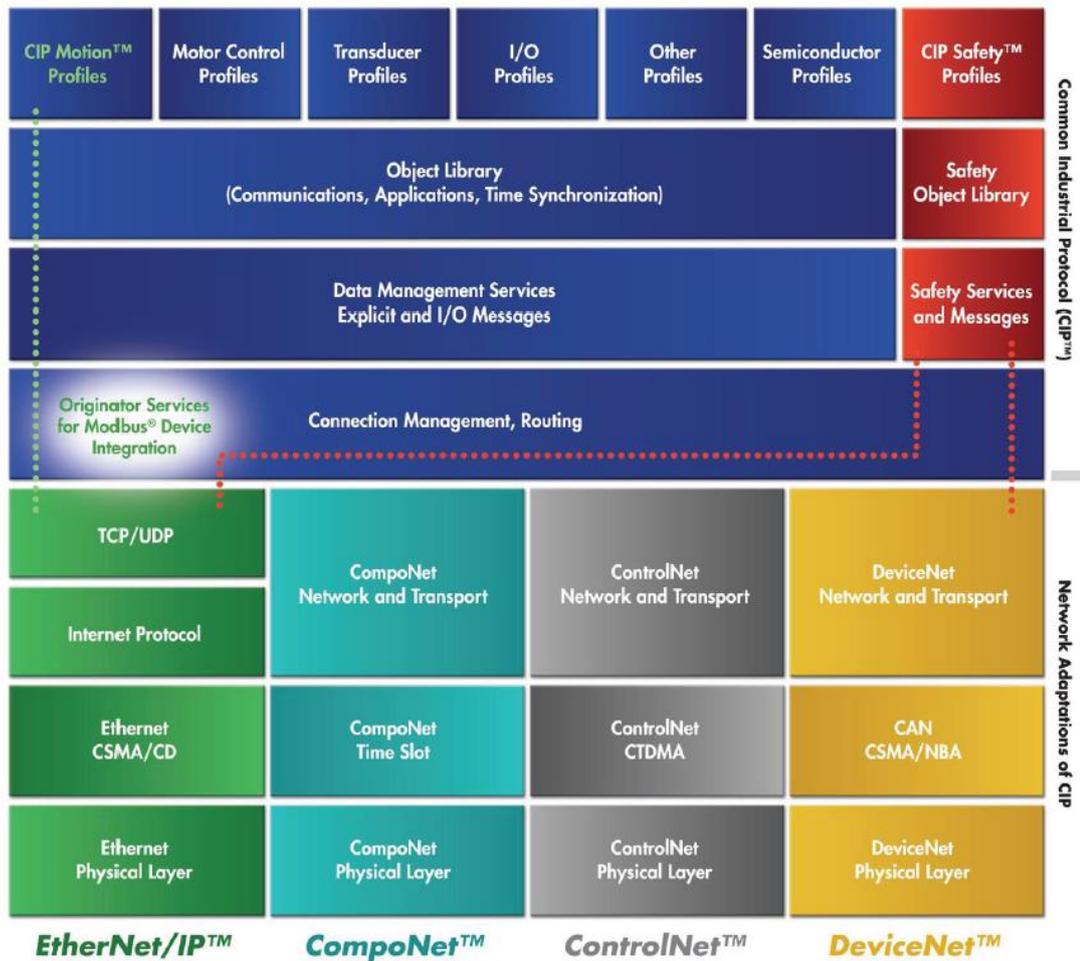
- Los servicios completos de productor y consumidor le permiten controlar, configurar y recopilar datos de dispositivos inteligentes de manera simultánea y sin problemas a través de una sola red o usar una sola red como red troncal para múltiples redes CIP distribuidas.
- Compatible con protocolos estándar de Internet HTTP, FTP, SNMP y DHCP y protocolos industriales estándar para acceso e intercambio de datos como OPC.
- El cumplimiento de los estándares IEEE Ethernet proporciona a los usuarios una variedad de velocidades de interfaz de red, por ejemplo, 10, 100 Mbps 1 Gbps y más, y una arquitectura de red flexible compatible con las opciones de instalación de Ethernet disponibles comercialmente que incluyen cobre, fibra, anillo de fibra e inalámbrico, y topologías que incluyen estrella, lineal y en anillo.
- Opciones para dispositivos con clasificación industrial que incorporan conectores con clasificación IP67 (RJ45 o M12) con módulos y LED de estado de red con etiquetado de dispositivos para facilitar su uso.
- Con la función opcional QuickConnect, EtherNet/IP minimiza los retrasos de encendido para las aplicaciones donde los dispositivos deben conectarse y estar listos para comunicarse con un retraso mínimo (por ejemplo, cambiadores de herramientas robóticas de fin de brazo).
- Soporte para seguridad funcional con CIP Safety implementado en dispositivos.
- Sincronización de relojes a través de un sistema de dispositivos interconectados utilizando CIP Sync.
- Soporte de aplicaciones de control de movimiento de alta velocidad con CIP Motion.

Aquí hay una mirada más profunda a la tecnología detrás de cada producto compatible con EtherNet/IP.

EtherNet/IP, como otras redes CIP, sigue el modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI), que define un marco para implementar protocolos de red en siete capas: física, enlace de datos, red, transporte, sesión, presentación y aplicación. Las redes que siguen este modelo definen un conjunto completo de funcionalidades de red desde la implementación física hasta la aplicación o la capa de interfaz de usuario. Al igual que con todas las redes CIP, EtherNet/IP implementa CIP en la capa de sesión y superior y adapta CIP a la tecnología específica de EtherNet/IP en la capa de transporte e inferior. Esta arquitectura de red que se muestra en Ethernet tiene la característica única de ser una red con una infraestructura activa. Por lo tanto, a diferencia de las redes industriales típicas, que generalmente tienen una infraestructura pasiva que limita la cantidad de dispositivos que se pueden conectar y la forma en que se pueden conectar, la infraestructura de red EtherNet/IP puede acomodar una cantidad prácticamente ilimitada de nodos punto a punto, y con la tecnología de conmutador incorporada, también puede admitir topologías lineales y de anillo que brindan a los usuarios una flexibilidad sin igual en el diseño de redes que se adaptan a sus requisitos actuales al tiempo que permiten una expansión fácil y rentable en el futuro. Para disminuir aún más la complejidad, EtherNet/IP proporciona un único punto de conexión tanto para la configuración como para el control porque EtherNet/IP admite mensajes de E/S (o implícitos): aquellos que generalmente contienen datos de control de tiempo crítico y mensajes explícitos, y aquellos en que el campo de datos lleva información de protocolo típica de las transacciones cliente/servidor utilizadas en la configuración y la recopilación de datos. Como una red de productores y consumidores que admite múltiples jerarquías de comunicación y priorización de mensajes, EtherNet/IP proporciona un uso más eficiente

del ancho de banda que otras redes de dispositivos que usan un modelo estrictamente de origen-destino. Los sistemas EtherNet/IP se pueden configurar para operar en una relación de tipo maestro / esclavo o en una arquitectura de control distribuido utilizando comunicaciones de igual a igual (ODVA, 2016).

Figura 2.17: La organización de la biblioteca de cuatro redes.



Fuente: (Schiffer, 2016)

2.15.1. LA CAPA FÍSICA

EtherNet/IP utiliza la tecnología estándar IEEE 802.3 en las capas de enlace físico y de datos. Este estándar proporciona una especificación para medios físicos, define un formato de trama común para mover paquetes de datos entre dispositivos y proporciona un conjunto de reglas para determinar cómo responden los dispositivos de red cuando dos dispositivos intentan usar un canal de datos simultáneamente. Esto se conoce como

CSMA/CD (Acceso múltiple de detección de portador / Detección de colisión). Como una red con una infraestructura activa, EtherNet/IP se configura típicamente usando una serie de segmentos de red construidos de conexiones punto a punto en una configuración en estrella. El núcleo de esta topología de red es una interconexión de conmutadores Ethernet de capa 2 y capa 3 que, como se mencionó anteriormente, puede acomodar un número ilimitado de nodos punto a punto. Sin embargo, las redes EtherNet/IP también pueden implementar ramificaciones lineales y topologías de anillo tolerantes a fallas simples mediante la utilización de la tecnología de conmutadores integrados y la tecnología de anillo de nivel de dispositivo (DLR). Estas topologías alternativas se pueden combinar para optimizar el enrutamiento de cables y el diseño de las comunicaciones de la máquina. La mayoría de los fabricantes ofrecen cables de "parche" prefabricados o personalizados en una amplia variedad de longitudes. Típicamente, una columna vertebral de interruptores, en la cual cada interruptor aísla una máquina o una parte importante de una máquina, se conecta con cables de cobre o fibra óptica de alta velocidad. Los otros puertos del conmutador pueden conectarse mediante un par trenzado (p. Ej., CAT 5E, CAT 6) o cables de fibra a los dispositivos de control para esa parte de la máquina o proceso de fabricación. En un nivel superior, las redes empresariales construidas en redes EtherNet/IP pueden hacer uso de la tecnología comercial para crear arquitecturas que van desde la separación completa hasta una Ethernet totalmente convergente en toda la planta. Según los requisitos de rendimiento, los usuarios pueden especificar productos industriales EtherNet/IP que hayan implementado opciones para la capa física para mejorar la confiabilidad en aplicaciones industriales, como aplicaciones de alto ruido o aquellas en las que se requieren clasificaciones IP67 de lavado a alta presión. Además, se recomienda un cable Ethernet CAT 5E o posterior para la confiabilidad en las aplicaciones de fabricación, ya que este cable proporciona una mayor

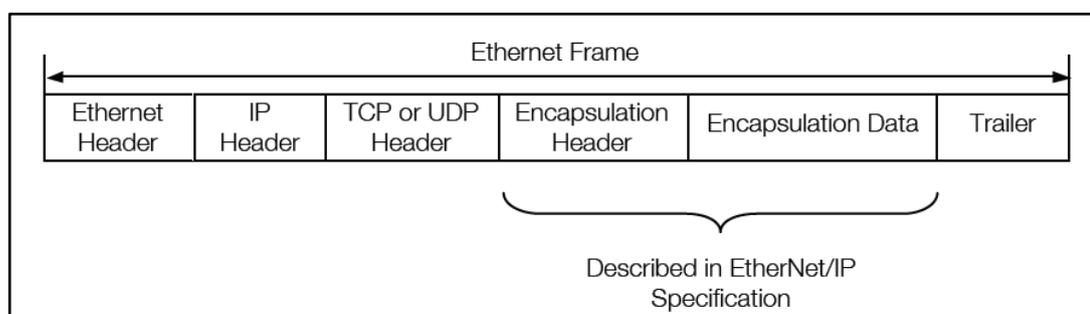
inmunidad al ruido y otras protecciones contra entornos industriales hostiles. Se encuentran disponibles opciones de cableado de fibra de cobre (par trenzado blindado o no blindado) y de fibra, así como conectores RJ45 sellados o no sellados para cables de cobre y conectores LT, SC, ST o MTRJ para cables de fibra óptica.

2.15.2. LA CAPA DE ENLACE DE DATOS

La especificación 802.3 de IEEE también es el estándar utilizado para transmitir paquetes de datos de dispositivo a dispositivo en la capa de enlace de datos EtherNet/IP. Ethernet emplea un mecanismo de acceso a medios CSMA/CD que determina cómo los dispositivos en red comparten un bus común (es decir, un cable) y cómo detectan y responden a colisiones de datos. Originalmente, Ethernet funcionaba en un modo de operación semidúplex, lo que significa que un nodo podía enviar o recibir datos, pero no podía hacer ambas cosas al mismo tiempo. Esto provocó atascos de datos, que son inaceptables en aplicaciones de control de tiempo crítico. Ahora, con Ethernet full-duplex (el estándar de facto actual), los dispositivos en red pueden enviar y recibir paquetes de datos Ethernet al mismo tiempo. Esto, junto con los avances en la tecnología de conmutación, hace que Ethernet sea adecuado para su uso en la gama de aplicaciones de fabricación o procesos. El protocolo de control de acceso a medios (MAC) de la especificación IEEE 802.3 es lo que realmente permite que los dispositivos "hablen" en la red Ethernet. Cada dispositivo tiene una dirección MAC única compuesta por un número de 6 bytes que está regulado por IEEE y el fabricante del producto para mantener la unicidad. Esta dirección MAC se usa en el campo de dirección de origen (SA) de la trama para indicar qué nodo envió la trama, y se usa en el campo de dirección de destino (DA) para indicar el destino de la trama. Establecer el primer bit en un "1" en el campo DA indica un paquete de datos para múltiples destinos, y permite que un nodo Ethernet transmita un único paquete de datos a uno o más nodos de destino. Una sola trama de

EtherNet/IP industrial puede contener hasta 1.500 bytes de datos, según los requisitos de la aplicación. La combinación de control en tiempo real con alta capacidad de datos ha hecho de Ethernet industrial la tecnología de red elegida, ya que se integra más inteligencia en dispositivos más pequeños y menos costosos. Al utilizar Ethernet estándar junto con TCP/IP y UDP estándar, EtherNet/IP está en una posición única para proporcionar facilidad de configuración y operación, alto rendimiento de datos, conectividad directa y brinda la capacidad de fusionar la fábrica con la empresa.

Figura 2.18: Relación de CIP con una trama Ethernet.



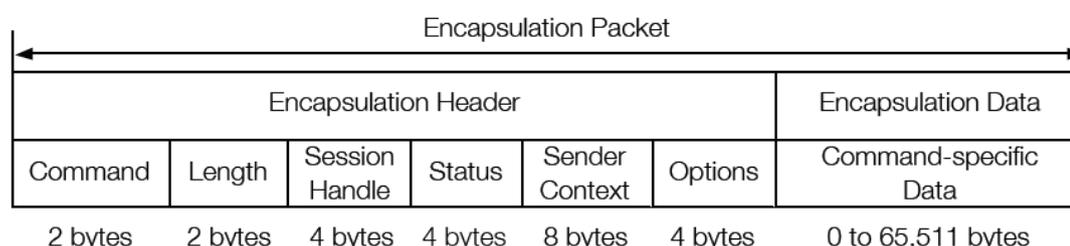
Fuente: (Schiffer, 2016)

2.15.3. LA RED Y LAS CAPAS DE TRANSPORTE

En las capas de red y transporte, EtherNet/IP utiliza TCP/IP estándar (Protocolo de control de transmisión / Protocolo de Internet) para enviar mensajes entre uno o más dispositivos. TCP/IP se ha utilizado en aplicaciones de oficina durante décadas y tiene una amplia familiaridad y soporte. Proporciona las características de protocolo de comunicación necesarias para implementar redes completamente funcionales (es decir, un esquema de direccionamiento y mecanismos para establecer una conexión con un dispositivo e intercambiar datos). Además, en estas capas, los mensajes CIP estándar utilizados por todas las redes CIP están encapsulados. Esta encapsulación TCP/IP permite que un nodo en la red incruste un mensaje CIP dentro de un mensaje Ethernet y lo envíe

a otro nodo en la red, utilizando el protocolo TCP/IP estándar. Al utilizar TCP/IP estándar y Ethernet, las capas inferiores de la pila TCP/IP y los chips de interfaz Ethernet (p. Ej., Controladores MAC) pasarán estos mensajes a través de la infraestructura estándar de Ethernet (p. Ej., Conmutadores, enrutadores, etc. administrados o no administrados) a El nodo de destino. TCP/IP se utiliza en EtherNet/IP para enviar mensajes explícitos CIP que se utilizan para realizar transacciones de tipo cliente-servidor entre nodos. Algunas de estas transacciones establecerán relaciones de comunicación que aprovechan UDP / IP, para intercambiar datos en tiempo real con otros nodos en el piso de la fábrica. Todo esto es transparente desde la perspectiva de la aplicación, que es posible gracias a las comunicaciones estándar de Ethernet, TCP/IP y UDP / IP.

Figura 2.19: Estructura de la encapsulación de un paquete.



Fuente: (Schiffer, 2016)

TCP/IP Suite consta de lo siguiente:

La parte TCP del protocolo TCP/IP es un mecanismo de transporte punto a punto (unidifusión) orientado a la conexión que proporciona control de flujo de datos, reensamblado de fragmentación y acuses de recibo de mensajes. Los nodos recibirán cada mensaje y confirmarán al remitente que se recibió. Si el mensaje está fragmentado en varias tramas, el remitente enviará el siguiente fragmento, que se confirma. Esto se repite hasta que se recibe el mensaje completo. En ese momento, el nodo receptor procesará los datos y actuará en consecuencia. Dado que TCP es ideal para la transmisión confiable de

grandes y pequeñas cantidades de datos, EtherNet/IP usa TCP/IP para encapsular mensajes explícitos CIP, que generalmente se usan para transmitir datos de configuración y diagnóstico, y también para establecer en tiempo real (implícito) transferencias de datos entre dispositivos.

La parte de IP del protocolo TCP/IP es el mecanismo que asegura el enrutamiento de paquetes a través de múltiples rutas posibles. La capacidad de enviar mensajes a sus destinos incluso cuando se interrumpe la ruta principal es la base del Protocolo de Internet. Debido a que EtherNet/IP usa IP estándar, este mismo tipo de enrutamiento se usa para mantener una separación adecuada de los elementos de control de piso de la fábrica y otros sistemas de fabricación mediante el uso de infraestructura estándar como interruptores administrados y enrutadores de capa 3. Para la transferencia de datos en tiempo real, EtherNet/IP también emplea UDP sobre IP para transportar mensajes de E/S que contienen datos de control de tiempo crítico. UDP es un mecanismo de transferencia sin conexión que tiene una sobrecarga de protocolo baja que produce tamaños de paquete más pequeños y hace posible la multidifusión de datos a más de un destino. Los paquetes más pequeños y el soporte de multidifusión hacen posible el modelo Productor / Consumidor con EtherNet/IP, y proporcionan un flujo de datos optimizado a través del sistema, mientras que el mecanismo de Conexión CIP proporciona mecanismos de tiempo de espera que pueden detectar problemas de entrega de datos. Por estas razones, UDP es adecuado para la tarea de transferir datos implícitos en tiempo real (es decir, E/S) en EtherNet/IP.

EtherNet/IP utiliza dos formas de mensajería:

- La mensajería no conectada se utiliza en el proceso de establecimiento de la conexión y para mensajes explícitos poco frecuentes y de baja prioridad. Los recursos no conectados en un dispositivo se denominan Administrador de mensajes desconectado o UCMM. Los mensajes no conectados en EtherNet/IP utilizan recursos TCP/IP para mover mensajes a través de Ethernet.
- La mensajería conectada en EtherNet/IP utiliza recursos dentro de cada nodo que se dedican de antemano a un propósito particular, como transacciones frecuentes de mensajes explícitos o transferencias de datos de E/S en tiempo real. Los recursos de conexión se reservan y configuran utilizando los servicios de comunicaciones disponibles a través de UCMM.

El proceso de abrir una conexión se llama Originación de conexión, y el nodo que inicia la solicitud de establecimiento de conexión se llama Originador de conexión, o simplemente un Originador. Por el contrario, el nodo que responde a la solicitud de establecimiento se denomina Objetivo de conexión u Objetivo.

EtherNet/IP tiene dos tipos de conexiones de mensajería:

Las conexiones de mensajería explícitas son relaciones punto a punto que se establecen para facilitar las transacciones de solicitud-respuesta entre dos nodos. Estas conexiones son de carácter general y generalmente se usan para solicitudes frecuentes entre los dos nodos. Pueden ser utilizados para llegar a cualquier elemento accesible desde la red dentro de un dispositivo. Las conexiones de mensajería explícita utilizan servicios TCP/IP para mover mensajes a través de Ethernet.

Las conexiones implícitas (datos de E/S) se establecen para mover datos de E/S específicos de la aplicación a intervalos regulares. Estas conexiones se pueden configurar como relaciones uno a uno o como uno a muchos para aprovechar al máximo el modelo de multidifusión productor-consumidor. La mensajería implícita utiliza recursos UDP / IP para hacer realidad las transferencias de datos de multidifusión a través de Ethernet. EtherNet/IP admite tres clases de dispositivos basadas en las capacidades de comunicación de red: clase de mensajería, clase de adaptador y clase de escáner. Cada clase admite un conjunto básico de servicios de comunicaciones, pero también puede proporcionar otros servicios opcionales. Los productos de la clase de mensajería admiten mensajes explícitos (conectados o no) que se envían o reciben de todas las demás clases de productos. Los productos de clase de mensajería son el objetivo de las solicitudes de conexión de mensajes explícitos, y también pueden ser creadores de estas solicitudes, pero no envían ni reciben datos de E/S en tiempo real.

Los ejemplos de productos en esta clase incluyen:

- Dispositivos que realizan la configuración y programación de productos HMI, robots y PLC.
- Dispositivos con aplicaciones que proporcionan una interfaz de operador para controlar sistemas (es decir, productos HMI).
- Aplicaciones de software que no requieren respuesta de E/S en tiempo real (por ejemplo, aplicaciones MIS).
- Configuración de red y herramientas de diagnóstico.

Los productos de clase de adaptador son el objetivo de las solicitudes de conexión de datos de E/S en tiempo real de los productos de clase de escáner. No pueden enviar o recibir datos de E/S en tiempo real a menos que un escáner se lo solicite, y no almacenan

ni originan los parámetros de comunicación de datos necesarios para establecer la conexión. Los productos de clase de adaptador reciben solicitudes de mensajes explícitos (conectados y/o no conectados) de todas las demás clases de productos. También pueden intercambiar datos (pares) utilizando mensajes explícitos con cualquier clase de dispositivo, pero generalmente no pueden originar tales relaciones.

Los ejemplos de productos en esta clase incluyen:

- Dispositivos de E/S como bloques de E/S o bastidores de módulos de E/S que producen y consumen datos de E/S en tiempo real.
- Balanzas, soldadores, unidades y robots que envían y reciben datos en tiempo real a solicitud de PLC y otros controladores.
- Balanzas, soldadores, unidades y robots que también reciben mensajes explícitos de sistemas de control como controladores y PLC.
- Productos HMI, que envían o reciben datos de E/S explícitos o en tiempo real a / desde PLC u otros controladores.

Los productos Scanner Class son los creadores de las solicitudes de conexión de datos de E/S a los productos de la clase del adaptador, así como a otros productos de la clase del escáner que admiten las funciones de la clase del adaptador (es decir, datos de E/S de punto a punto explícitos o de igual a igual). Por lo general, estos productos también son originadores u objetivos de solicitudes de conexión explícitas hacia y desde otras clases de productos, y también pueden enviar o recibir mensajes explícitos hacia o desde todas las demás clases de productos.

Los ejemplos de productos en esta clase incluyen:

- PLC, controles basados en PC, otros controladores y robots que envían y reciben datos en tiempo real desde y hacia dispositivos de E/S, PLC, controles basados en PC, unidades, robots, balanzas, soldadores y productos HMI.
- PLC, controladores y robots que envían y reciben datos de mensajes explícitos hacia y desde otros PLC, robots, balanzas, controles basados en PC, soldadores y productos HMI.

2.15.4. LAS CAPAS SUPERIORES

EtherNet/IP utiliza el Protocolo industrial común (CIP), que es un protocolo orientado a objetos, en las capas superiores.

Cada objeto CIP tiene atributos bien definidos (datos), servicios (comandos) y comportamientos (reacciones a eventos). El modelo de comunicación productor-consumidor del CIP proporciona un uso más eficiente de los recursos de red que un modelo de destino de fuente pura al permitir el intercambio de información de la aplicación entre un dispositivo emisor (p. Ej., El productor) y muchos dispositivos receptores (p. Ej., Los consumidores) sin que sea necesario transmitido varias veces por una sola fuente a cada destino individual. En las redes de productores y consumidores, un mensaje se identifica por su ID de conexión, no por su dirección de destino (como es el caso de las redes de destino). En EtherNet/IP esto se realiza mediante la combinación de la ID de conexión y una dirección de grupo de multidifusión IP. Por lo tanto, el modelo productor-consumidor proporciona una clara ventaja para los usuarios de redes CIP al hacer un uso eficiente de los recursos de la red de las siguientes maneras:

- Si un nodo desea recibir datos, solo necesita solicitarlos una vez para consumir los datos cada vez que se producen.

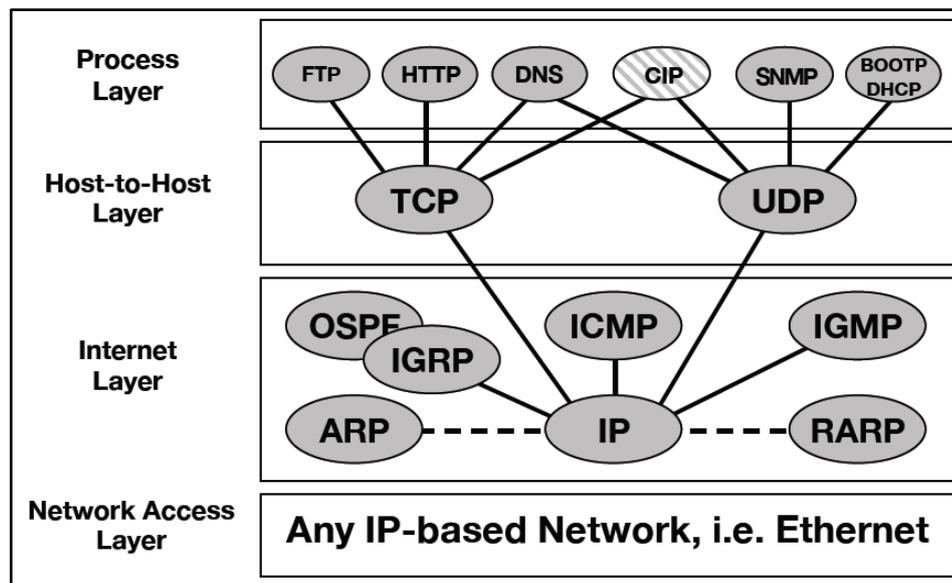
- Si un segundo nodo (tercero, cuarto, etc.) desea los mismos datos, cuando lo solicite, el dispositivo proporcionará la dirección de multidifusión y la ID de conexión del mensaje que ya se está produciendo, de modo que todos los nodos recibirán simultáneamente un solo mensaje de la red.

CIP también incluye "tipos de dispositivo" para los que hay perfiles de dispositivo. Para un tipo de dispositivo dado, el Perfil de dispositivo especificará el conjunto de objetos CIP que deben implementarse, las opciones de configuración y los formatos de datos de E/S.

Esta coherencia en la implementación de objetos para un tipo de dispositivo dado proporciona otra ventaja clara para los usuarios de CIP Networks al promover una interfaz de aplicación común para un tipo de dispositivo dado y la interoperabilidad en redes compuestas por dispositivos de múltiples proveedores. Para las aplicaciones donde se requiere una funcionalidad única, también es posible que un proveedor EtherNet/IP defina objetos adicionales específicos del proveedor en un producto compatible con EtherNet/IP a fin de admitir los requisitos funcionales de aplicaciones particulares que son exclusivas de ese proveedor. La transición y el enrutamiento sin interrupciones es quizás la ventaja más importante para los usuarios de CIP Networks, ya que es este mecanismo el que más protege la inversión del usuario en el futuro. La capacidad de originar un mensaje en una red CIP, como EtherNet/IP, y luego pasarlo a otra red CIP, como DeviceNet, sin presentación en la capa de aplicación, significa que los usuarios pueden incorporar mejoras de aplicación incrementales a las instalaciones existentes y/o integrar sistemas de automatización con aplicaciones de diagnóstico, pronóstico y/o TI. El puente y el enrutamiento sin interrupciones entre las redes CIP homogéneas y heterogéneas está habilitado por un conjunto de objetos CIP que define los mecanismos de enrutamiento CIP (este no es el enrutamiento del Protocolo de Internet discutido anteriormente) para

que un dispositivo lo use cuando reenvía el contenido de un mensaje producido en uno puerto de red a otro. Este mecanismo no altera el contenido de un mensaje durante el proceso de enrutamiento. Al utilizar este mecanismo, la única responsabilidad del usuario es describir la ruta que debe seguir un mensaje determinado. CIP garantiza que los dispositivos que actúan como puertas de enlace entre las diferentes redes CIP manejan el mensaje correctamente, independientemente de las redes CIP involucradas.

Figura 2.20: Relación entre CIP y otros protocolos comunes de Ethernet.



Fuente: (Schiffer, 2016)

2.15.5. ADMINISTRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET/IP

EtherNet/IP es administrado por ODVA, una asociación internacional de las principales compañías de automatización del mundo. Las responsabilidades de gestión EtherNet/IP de ODVA incluyen:

- Publicación de la especificación EtherNet/IP.
- Supervisar el proceso para incorporar nuevas mejoras a la especificación EtherNet/IP.

- Concesión de licencias de la tecnología EtherNet/IP a empresas que deseen fabricar y/o vender productos compatibles con EtherNet/IP.
- Promover la conciencia de la industria sobre EtherNet/IP y sus beneficios.
- Ayudando a garantizar el cumplimiento de los productos EtherNet/IP con la especificación a través de pruebas de conformidad e informes de conformidad (ODVA, 2016).

2.16. NORMA ANSI/ISA-5.1-2009

Este estándar propuesto por la Sociedad Americana de Instrumentistas ISA (sus siglas en inglés Instruments Society of America) y aprobado en 1984 por una serie de compañías como Foxboro, Bailey Controls, Honeywell Inc, Moore Products, IBM, Boeing, consultores externos y demás, propone mediante a una serie de diagramas, términos y simbología gráfica indicar el tipo de aplicación en un proceso industrial, el tipo de señal que se está empleando por ejemplo si es neumática, hidráulica, eléctrica, si es una señal de control, si es un dato lógico proveniente de un sistema de control, también nos sirve para representar qué tipo de instrumento y lazo de control disponible en el proceso, entre otras características para así ser reconocidos en la industria por el personal interesado.

Esta norma establece de manera uniforme y estándar los medios de representación, la identificación y funciones propias de los instrumentos o dispositivos, sistemas de instrumentación utilizados para la medición, seguimiento y control, presentando un sistema de designación que incluye sistemas de identificación y símbolos gráficos. Esta norma tiene por objeto satisfacer los distintos procedimientos de los diversos usuarios que necesitan para identificar y representar gráficamente equipos de medición y control y sistemas. Estas diferencias se reconocen cuando son coherentes con los objetivos de

esta norma, proporcionando símbolos de alternativas y métodos de identificación. Esta norma es conveniente para el uso en diferentes sectores de la industria, ya que esta requiere el uso de esquemas de sistemas de control, diagramas funcionales y esquemas eléctricos para describir la relación con el equipo de procesamiento y la funcionalidad de equipos de medida y control (ANSI/ISA, 2009).

2.16.1. DEFINICIONES DEL ESTÁNDAR ANSI/ISA-5.1-2009

Es importante conocer cierta terminología o definiciones para la comprensión de esta norma.

- **Accesible (Accessible):** Este término se aplica a un dispositivo o una función, la cual puede verse por un operador con el propósito de efectuar acciones del control como: cambiar el set point, acciones de ON OFF.
- **Alarma (Alarm):** Un dispositivo o función que proporciona una indicación visible y/o audible cuando el valor de una medida se encuentra fuera de los límites establecidos y su estado ha cambiado de seguro a inseguro, o de normal a uno anormal en cuanto a su condición de funcionamiento. El dispositivo usado puede ser binario o analógico y la indicación puede ser por: paneles anunciadores, luces intermitentes, timbres, bocinas, sirenas, etc.
- **Asignar (Assignable):** Término aplicado a la indicación que permite dirigir o canalizar una señal a un dispositivo u otro elemento sin la necesidad de unir o cambiar alambrado.
- **Estación Auto-Manual (Auto-manual station):** es la que proporciona el cambio entre los modos manual y automático en un lazo de control.

- **Globo (Ballon):** Sinónimo de burbuja o símbolo circular que se utiliza para designar e identificar el propósito o función de un instrumento que puede contener un número o una letra.
- **Detrás del panel (Behind the panel):** se refiere a un lugar que no es accesible para el operador, como la parte posterior de un panel de instrumentos o de control.
- **Binario (Binary):** término aplicado a una señal o dispositivo que solo tiene dos posiciones o estados discretos, y cuando se utiliza en su forma más simple, como en “señal binaria” en lugar de “señal analógica”, el término denota un ON-OFF o High-Low.
- **Placa (Board):** sinónimo de panel.
- **Burbuja (Bubble):** El símbolo circular tiene como propósito identificar un instrumento o una función y puede tener un número como etiqueta. Dispositivo computacional. – (computing device) Dispositivo que realiza una o más cálculos u operaciones lógicas o ambas, transmitiendo una o más señales de salida como resultado. Puede ser un relé de cómputo.
- **Configurable (Configurable):** Término usado para los dispositivos o sistemas cuyo funcionamiento y/o características pueden ser seleccionados u ordenados a través de un programa u otras maneras.
- **Controlador (Controller):** Dispositivo que tiene una salida que varía para regular una variable que se desea controlar de una manera específica. Puede tener instrumentos análogos o digitales o puede ser equivalente a un instrumento en un DSC (Sistema de Control Distribuido). Un controlador puede estar integrado con otros instrumentos en un lazo de control.

- **Estación de control (Control Station):** Una estación de carga manual es la que permite la interrupción entre el modo manual y el automático de un lazo de control, se puede decir que es la interface del operador con un sistema de control distribuido (DCS) y puede relacionarse como estación de control.
- **Válvula de control (Control valve):** Dispositivo que comúnmente es actuado manualmente en acciones de ON OFF o semi actuada, que permite manipular el flujo en uno o más procesos de fluidos.
- **Convertidor (Converter):** Dispositivo que recibe la señal de información desde un instrumento de una forma y envía una señal hacia una salida bajo otra forma. Un instrumento que cambia la salida del sensor a una señal estándar no es propiamente un convertidor sino un transmisor.
- **Digital (Digital):** Terminio aplicado a una señal o dispositivo que usa dígitos binarios para representar valores continuos o estables discretos.
- **Sistema de Control Distribuido (Distribuided Control System):** Es un sistema que opera funcionalmente consistiendo en subsistemas que pueden operar física o remotamente separados unos de otros. El sistema de control distribuido proporciona un puente de comunicación a través de un panel de control local entre una red de tiempo no real, tal como una Ethernet, y una red de tiempo real, tal como un controlador de red de área. Un sistema de control distribuido tiene una base de datos unificada, las aplicaciones y cambios se hacen desde la estación de ingeniería, ya que es allí donde se encuentra la configuración de todos los controladores que conforman el sistema.

- **Elemento final de control (Final control element):** Es el dispositivo que directamente controla el valor de la variable manipulada de un lazo de control, que por lo general resulta ser una válvula de control.
- **Función (Function):** El propósito de o una acción efectuada por un dispositivo.
- **Hardware:** Es la parte física del equipo que participa directamente en la medición, monitoreo y control de las funciones.
- **Identificación (Identification):** Es la secuencia de letras o números, o ambos, que sirven para identificar un instrumento o un lazo.
- **Instrumento (Instrument):** Dispositivo que se utiliza para controlar y tomar la medida directa o indirecta de una variable. Estos pueden ser elementos primarios, indicadores, controladores, elementos finales de control, dispositivos informáticos y eléctricos tales como anunciadores, interruptores y pulsadores.
- **Instrumentación (Instrumentation):** Colección de instrumentos, dispositivos, hardware o funciones o su aplicación con el propósito de medir, monitorear o controlar un proceso industrial o de una máquina, o cualquier combinación de éstos.
- **Local (Local):** Un instrumento que no está montado sobre un panel o consola o en una sala de control, pero si comúnmente en las cercanías de su elemento primario o elemento final de control. La palabra “campo” es sinónimo de local.
- **Panel Local (Local panel):** Un panel local no es un panel principal. Los paneles locales se ubican en las cercanías de los subsistemas o subáreas de la planta. El término “panel de instrumentación local” no debe confundirse como “instrumento local”.

- **Lazo o Loop:** Combinación de dos o más instrumentos o arreglo de funciones de control también el paso de señales de uno a otro con el propósito de medir y/o controlar una variable en un proceso.
- **Estación de carga manual (Manual loading station):** Dispositivo o función que tiene un ajuste manual de la salida usado para actuar con uno o más dispositivos de control remoto. La estación no provee interruptores entre el modo de control manual o automático de un lazo de control. La estación puede tener indicadores integrados a ella; luces, u otras características. Se le conoce como estación manual o carga manual.
- **Medición (Measurement):** Determinación de la existencia o magnitud de una variable.
- **Monitor:** Termino general para un instrumento o sistema de instrumentos que miden o detectan el estado o magnitud de una o más variables con el propósito de obtener una información útil. El termino monitor es muy ambiguo se asocia generalmente con analizadores, indicadores o alarmas
- **Luz Monitor (Light monitor):** Sinónimo de luz piloto.
- **Panel:** una estructura que tiene un grupo de instrumentos montados en ella, que encierra interfaces para el operador del proceso y es seleccionada con una designación única. El panel puede consistir en una o más secciones, cubículos, consolas o escritorios, sinónimo de tablero.
- **Panel de montaje (panel-mounted):** Termino aplicado a un instrumento que están instalados en un panel o consola y son accesibles al operador en forma normal. Una

función que normalmente es accesible a un operador en un sistema de visualización compartida, es el equivalente de un dispositivo montado en un panel discreto.

- **Luz piloto (Pilot light):** Luz que indica cuales son las condiciones normales de un sistema o dispositivo. Por ejemplo, luz de alarma que indica condición normal. Se le conoce también como luz monitor.
- **Elemento primario (Primary element):** sinónimo de sensor o detector.
- **Proceso (Process):** Operación o secuencia de operaciones que involucra un cambio de energía, estado, composición, dimensión u otras propiedades que pueden definirse respecto a una referencia.
- **Variable de proceso (Process variable):** cualquier variable perteneciente a un proceso. en esta norma se aplica para todas las variables que no sean las de señales de instrumentación.
- **Programa (Program):** Secuencia repetitiva de acciones que definen el estado de salidas relacionadas con los valores dado por las entradas.
- **Controlador Lógico Programable (PLC):** Son autómatas adaptados para funcionar como sistemas de control en ambientes de producción industrial. Poseen múltiples entradas y salidas y que contiene un programa modificable.
- **Relé:** Dispositivo cuya función es pasar una información inmodificable a o en alguna forma modificada. se aplica especialmente en electricidad, neumática o hidráulica como interruptor que actúa bajo una señal.
- **Scan:** Para monitorear en forma predeterminada el estado cada una de las variables de un proceso de forma periódica, puede estar asociado con otras funciones como alarma y memoria.

- **Sensor:** Parte de un lazo o un instrumento que primero sensa el valor de la variable de un proceso y que asume el valor correspondiente predeterminado para el estado de la salida. El sensor puede estar separado o integrado a cualquier elemento funcional del lazo. Se le conoce también como detector o elemento primario.
- **Set point:** Punto de referencia para una variable de entrada que establece el valor de la variable a controlar. Se puede establecer en forma manual, automáticamente o programada. Su valor se expresa en la misma unidad que la variable controlada.
- **Display de pantalla:** Dispositivo de interfaz, para el operador. Comúnmente pantalla de video empleada para controlar información desde las fuentes hacia el operador.
- **Controlador compartido (Shared Controller):** Elemento que contiene algunos algoritmos pre programados que usualmente son accesibles, configurables, y asignables, permitiendo que un solo dispositivo controle varias variables.
- **Interruptor (Switch):** Dispositivo que conecta, desconecta, selecciona o transfiere uno o más circuitos y no esta designado como un controlador, como un relé o como una variable de control. El término también es aplicable a las funciones efectuadas por los switch.
- **Punto de prueba (Test Point):** Es una conexión al proceso con instrumentos no conectados permanentemente, es por extensión una conexión temporal o intermitente de un instrumento.
- **Transductor (Transducer):** Termino general para un dispositivo que recibe información de una o más formas de cantidades físicas, modificando esta información y/o su forma produciendo una señal de salida. Dependiendo de su aplicación en el proceso puede ser un elemento primario, transmisor, relé,

convertidor u otro dispositivo. Pero el termino transductor no es especifico, su uso para aplicaciones específicas no se recomienda.

- **Transmisor (Transmitter):** Dispositivo que detecta la variable de un proceso por medio de un sensor y tiene una salida cuyo valor en el estado estable varia como una función predeterminada de la variable del proceso. El sensor puede o no estar integrado al transmisor.

2.16.2. IDENTIFICACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

En el estándar ANSI/ISA-S5.1 se ilustran un número ilimitado de ejemplos para el diseño e identificación de los sistemas e instrumentos, así como su representación gráfica mediante símbolos.

La identificación de un instrumento es una combinación de literales y números en donde a cada instrumento o función se le designa un código alfanumérico o número de identificación, de tal manera que de izquierda a derecha se tienen las literales y enseguida la numeración designada, ver la siguiente ilustración.

Figura 2.22: Identificación de un registrador/controlador.



Fuente: (ANSI/ISA, 2009)

- Primera letra: variable.
- Letras sucesivas: función (controlador, convertidor, transmisor, etc.)
- Numero de lazo: indica el lazo de control del diagrama.
- Sufijo: se usa para diferenciar dos o más instrumentos en un mismo lazo de control.

La identificación funcional de un instrumento o su equivalente funcional consiste de letras, que incluye una primera letra la cual es para designar la edición o variable inicial, y una o más letras sucesivas las cuales designan las funciones ejecutadas, ejemplo:

- FCV: válvula control de flujo.
- PI: indicador de presión.
- LI: indicador de nivel.
- LIC: controlador indicador de nivel.

La tabla siguiente del estándar ANSI/ISA-S5.1 muestra la identificación de letras y sirve para identificar el instrumento con letras como iniciales para determinar su identificación funcional.

La tabla 4.1 del estándar, especifica las 2 primeras columnas para letras, la primera columna identificará la variable a medir y si es necesario adicionar otra literal que indique una modificación de la variable a medir, la encontramos en la segunda columna. Por ejemplo, si se tiene un indicador de presión diferencial, el modificador de la variable presión, es tener una diferencial de presión (D) y una indicación de la diferencial de presión (I), que es la tercera columna como una función de lectura/pasiva, por tanto, la identificación con literales del instrumento sería PDI.

Las letras sucesivas que identifican al instrumento se encuentran en las columnas 3, 4 y 5 de la tabla.

En la columna 3 se indica una función de lectura/pasiva del instrumento que puede ser una alarma, indicador, vidrio, un orificio de restricción (FO), una tendencia o registro (_R), una conexión de prueba(P), una sonda o un pozo en termopozos (TW), etc.

En la columna 4 se define la función de salida/activa de un instrumento por ejemplo para una Válvula de Control de presión, la identificación con literales es PV en donde la literal V indica que se trata de una válvula de Control la cual es una función de salida/activa.

En la columna 5, se especifica un modificador de función, a las funciones de la columna 3 y 4, como variable de presión, ejemplo alta presión (H), o muy alta presión (HH), o muy baja presión (LL).

Tabla 2.1: Letras de identificación para variables medidas.

Note: Numbers in parentheses refer to the preceding explanatory notes in Clause 4.2.

| | First letters (1) | | Succeeding letters (15) | | |
|---|--|---|--|--|-------------------------------------|
| | Column 1 | Column 2 | Column 3 | Column 4 | Column 5 |
| | Measured/Initiating Variable | Variable Modifier (10) | Readout/Passive Function | Output/Active Function | Function Modifier |
| A | Analysis (2)(3)(4) | | Alarm | | |
| B | Burner, Combustion (2) | | User's Choice (5) | User's Choice (5) | User's Choice (5) |
| C | User's Choice (3a)(5) | | | Control (23a)(23e) | Close (27b) |
| D | User's Choice (3a)(5) | Difference, Differential, (11a)(12a) | | | Deviation (28) |
| E | Voltage (2) | | Sensor, Primary Element | | |
| F | Flow, Flow Rate (2) | Ratio (12b) | | | |
| G | User's Choice | | Glass, Gauge, Viewing Device (16) | | |
| H | Hand (2) | | | | High (27a)(28a)(29) |
| I | Current (2) | | Indicate (17) | | |
| J | Power (2) | | Scan (18) | | |
| K | Time, Schedule (2) | Time Rate of Change (12c)(13) | | Control Station (24) | |
| L | Level (2) | | Light (19) | | Low (27b)(28)(29) |
| M | User's Choice (3a)(5) | | | | Middle, Intermediate (27c)(28) (29) |
| N | User's Choice (5) | | User's Choice (5) | User's Choice (5) | User's Choice (5) |
| O | User's Choice (5) | | Orifice, Restriction | | Open (27a) |
| P | Pressure (2) | | Point (Test Connection) | | |
| Q | Quantity (2) | Integrate, Totalize (11b) | Integrate, Totalize | | |
| R | Radiation (2) | | Record (20) | | Run |
| S | Speed, Frequency (2) | Safety(14) | | Switch (23b) | Stop |
| T | Temperature (2) | | | Transmit | |
| U | Multivariable (2)(6) | | Multifunction (21) | Multifunction (21) | |
| V | Vibration, Mechanical Analysis (2)(4)(7) | | | Valve, Damper, Louver (23c)(23e) | |
| W | Weight, Force (2) | | Well, Probe | | |
| X | Unclassified (8) | X-axis (11c) | Accessory Devices (22), Unclassified (8) | Unclassified (8) | Unclassified (8) |
| Y | Event, State, Presence (2)(9) | Y-axis (11c) | | Auxiliary Devices (23d)(25)(26) | |
| Z | Position, Dimension (2) | Z-axis (11c), Safety Instrumented System (30) | | Driver, Actuator, Unclassified final control element | |

Fuente:("ANSI/ISA-5.1-2009 Instrumentation Symbols and Identification," 2009).

La simbología que se muestra en la tabla a continuación y sirve para identificar si el instrumento es local, se encuentra en un PLC o está en un sistema de control. Esta simbología se utiliza para plasmarla en los diagramas P&ID (Piping and Instrumentation Diagram).

Tabla 2.2: Dispositivos de instrumentación y símbolos de función.

Note: Numbers in parentheses refer to explanatory notes in Clause 5.3.1.

| No. | Shared display, Shared control (1) | | C Computer Systems and Software (4) | D Discrete (5) | Location & accessibility (6) |
|-----|--|--|--|-------------------|--|
| | A | B | | | |
| | Primary Choice or Basic Process Control System (2) | Alternate Choice or Safety Instrumented System (3) | | | |
| 1 | | | | | <ul style="list-style-type: none"> • Located in field. • Not panel, cabinet, or console mounted. • Visible at field location. • Normally operator accessible. |
| 2 | | | | | <ul style="list-style-type: none"> • Located in or on front of central or main panel or console. • Visible on front of panel or on video display. • Normally operator accessible at panel front or console. |
| 3 | | | | | <ul style="list-style-type: none"> • Located in rear of central or main panel. • Located in cabinet behind panel. • Not visible on front of panel or on video display. • Not normally operator accessible at panel or console. |
| 4 | | | | | <ul style="list-style-type: none"> • Located in or on front of secondary or local panel or console. • Visible on front of panel or on video display. • Normally operator accessible at panel front or console. |
| 5 | | | | | <ul style="list-style-type: none"> • Located in rear of secondary or local panel. • Located in field cabinet. • Not visible on front of panel or on video display. • Not normally operator accessible at panel or console. |

Fuente: ("ANSI/ISA-5.1-2009 Instrumentation Symbols and Identification," 2009).

Tabla 2.3: Combinación de letras para la designación de medición de variables.

| Analysis | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| AIR = Excess air | H2O = Water | O2 = Oxygen | UV = Ultraviolet |
| CO = Carbon monoxide | H2S = Hydrogen sulfide | OP = Opacity | VIS = Visible light |
| CO2 = Carbon dioxide | HUM = Humidity | ORP = Oxidation reduction | VISC = Viscosity |
| COL = Color | IR = Infrared | pH = Hydrogen ion | = |
| COMB = Combustibles | LC = Liquid chromatograph | REF = Refractometer | = |
| COND = Elec. conductivity | MOIST = Moisture | RI = Refractive index | = |
| DEN = Density | MS = Mass spectrometer | TC = Thermal conductivity | = |
| GC = Gas chromatograph | NIR = Near infrared | TDL = Tunable diode laser | = |
| Flow | | | |
| CFR = Constant flow regulator | OP = Orifice plate | PT = Pitot tube | VENT = Venturi tube |
| CONE = Cone | OP-CT = Corner taps | PV = Pilot venturi | VOR = Vortex Shedding |
| COR = Coriolis | OP-CQ = Circle quadrant | SNR = Sonar | WDG = Wedge |
| DOP = Doppler | OP-E = Eccentric | SON = Sonic | = |
| DSON = Doppler sonic | OP-FT = Flange taps | TAR = Target | = |
| FLN = Flow nozzle | OP-MH = Multi-hole | THER = Thermal | = |
| FLT = Flow tube | OP-P = Pipe taps | TTS = Transil lime sonic | = |
| LAM = Laminar | OP-VC = Vena contracta taps | TUR = Turbine | = |
| MAG = Magnetic | PD = Positive displacement | US = Ultrasonic | = |
| Level | | | |
| CAP = Capacitance | GWR = Guided wave radar | NUC = Nuclear | US = Ultrasonic |
| d/p = Differential pressure | LSR = Laser | RAD = Radar | = |
| DI = Dielectric constant | MAG = Magnetic | RES = Resistance | = |
| DP = Differential pressure | MS = Magnetostrictive | SON = Sonic | = |
| Temperature | | | |
| BM = Bi-metallic | RTD = Resistance temp detector | TCK = Thermocouple type K | TRAN = Transistor |
| IR = Infrared | TC = Thermocouple | TCT = Thermocouple type T | = |
| RAD = Radiation | TCE = Thermocouple type E | THRM = Thermistor | = |
| RP = Radiation pyrometer | TCJ = Thermocouple type J | TMP = Thermopile | = |
| Miscellaneous | | | |
| Burner, Combustion | Position | Quantity | Radiation |
| FR = Flame rod | CAP = Capacitance | PE = Photoelectric | α = Alpha radiation |
| IGN = Igniter | EC = Eddy current | TOG = Toggle | β = Beta radiation |
| IR = Infrared | IND = Inductive | = | γ = Gamma radiation |
| TV = Television | LAS = Laser | = | n = Neutron radiation |
| UV = Ultraviolet | MAG = Magnetic | = | = |
| = | MECH = Mechanical | = | = |
| = | OPT = Optical | = | = |
| = | RAD = Radar | = | = |
| = | = | = | = |
| Speed | Weight, Force | | |
| ACC = Acceleration | LC = Load cell | = | = |
| EC = Eddy current | SG = Strain gauge | = | = |
| PROX = Proximity | WS = Weigh scale | = | = |
| VEL = Velocity | = | = | = |
| = | = | = | = |

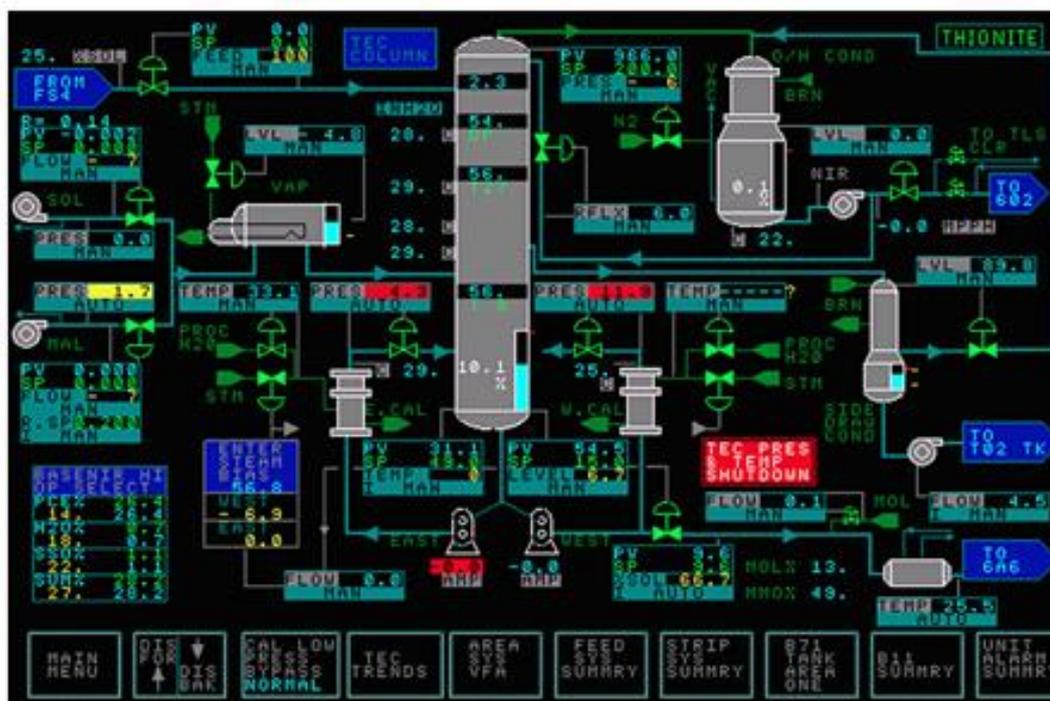
Fuente:("ANSI/ISA-5.1-2009 Instrumentation Symbols and Identification," 2009).

En el ANEXO B se muestran más normas ISA que fueron usadas estrictamente para desarrollar el diagrama de procesos e instrumentación (P&ID).

2.17. HUMAN-MACHINE INTERFACE (HMI)

En la siguiente figura, se ha gastado mucho dinero en la instrumentación. Para saber que este proceso se ejecuta con la máxima eficiencia, o muy mal; para saberlo, uno debe tener capacitación específica y meses de experiencia en situaciones normales y anormales. El operador debe comparar cada número con un mapa mental memorizado adquirido a través de la experiencia y las molestias. Este es un proceso cognitivo difícil. La mayoría de los operadores tienen más de mil números e indicaciones de estado repartidas en docenas de gráficos. Detectar condiciones anormales es difícil (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008).

Figura 2.22: Una pantalla gráfica de 1990 típica y basada en P&ID.

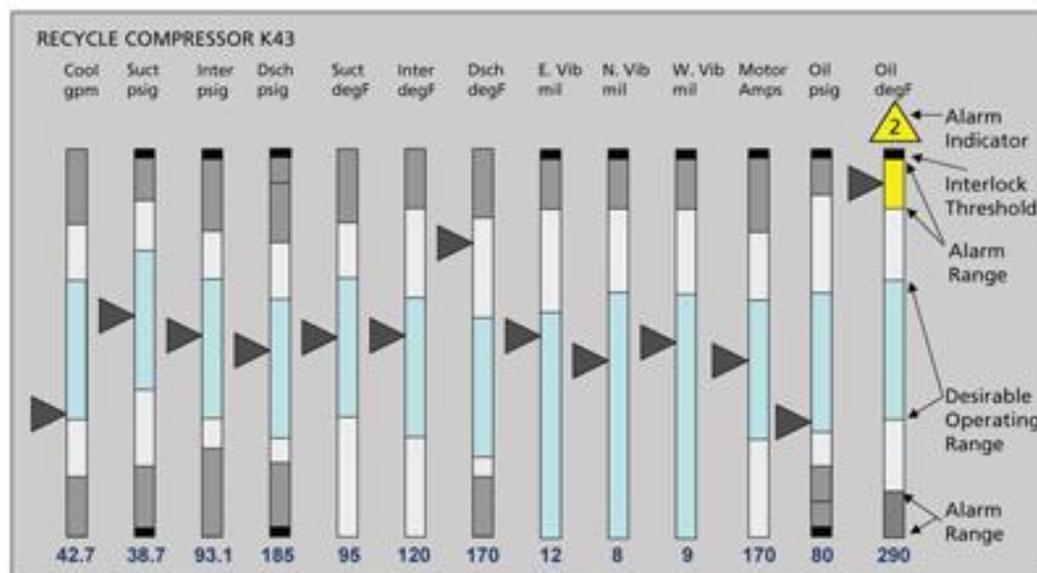


Fuente: (Hollifield, 2012)

En la siguiente figura los instrumentos de un compresor se muestran de manera diferente. El rango normal o deseado de cada valor se representa claramente usando el rango azul claro o turquesa. Se muestra la proximidad del valor a los rangos de alarma y los umbrales de bloqueo automático. Normalmente esperamos que los operadores

también memoricen qué sensores son iniciadores de enclavamiento. Los valores en alarma se representan con un indicador de prioridad de alarma codificado de forma redundante.

Figura 2.23: Representación analógica de la información.



Fuente: (Hollifield, 2012)

Con un solo vistazo de dos segundos a este banco de indicadores analógicos diseñados adecuadamente, los operadores pueden determinar si los valores están fuera del rango normal, en qué medida y la proximidad de la medición a las alarmas y la activación del enclavamiento. Los humanos entienden intuitivamente las representaciones analógicas. La temperatura de descarga anormalmente alta que se muestra es fácil de detectar a pesar de que todavía no está en alarma. Las condiciones de alarma se destacan.

Al codificar la información en la pantalla, el operador puede escanear de manera efectiva docenas de valores en unos pocos segundos. Esto apoya la vigilancia del proceso y la detección temprana de anomalías. No esperamos que una alarma indique un problema. El mejor conocimiento de las condiciones de operación deseables se codifica en la pantalla y está a la vista todo el tiempo, no se oculta en los procedimientos escritos.

Se reduce la variabilidad en la competencia y el conocimiento de los operadores individuales.

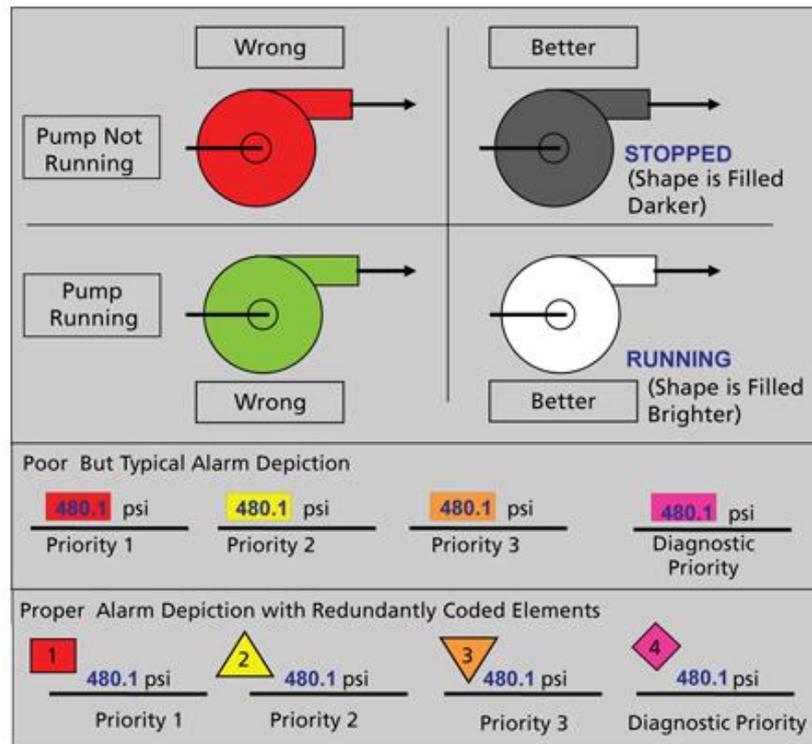
El tiempo de capacitación del operador también se reduce significativamente, ya que no se adquiere un conocimiento importante a la perfección a través de la experiencia. Esto es importante porque la mayoría de las empresas perderán más de la mitad de sus operadores e ingenieros experimentados en los próximos 10 años.

2.17.1. USO DE COLORES

Es importante eliminar el uso excesivo común y el mal uso del color. Un principio importante es que el color por sí solo no se usa como el único discriminador de una condición de estado importante. Los mismos colores designados para las alarmas no deben usarse también para otros fines triviales, minimizando su importancia.

La violación del principio de color más común y peor es el paradigma del equipo rojo (apagado) y verde (encendido). La industria energética revierte esto, con un significado rojo energizado. La siguiente figura indica una codificación de color deficiente frente a la práctica adecuada.

Figura 2.24: Representando el estado de alarmas con código redundante y uso de color apropiado.



Fuente: (Hollifield, 2012)

El color rojo-verde que se muestra es (incorrectamente) la única diferencia que representa el estado del equipo. Como el rojo se usa generalmente como color de alarma, no se debe usar para algo tan trivial como para representar una condición de "apagado". Estar "apagado" suele ser un estado normal y apropiado; un proceso que se ejecuta normalmente no debería mostrarse en rojo. La codificación del brillo es una mejor práctica: imagine que hay una bombilla dentro de la bomba. Se coloca una palabra de estado junto al equipo para garantizar la claridad. Este paradigma puede extenderse útilmente en tablas y otras representaciones.

Las alarmas se indican comúnmente simplemente cambiando el color de un valor de proceso o su fondo, una práctica deficiente. Las condiciones de alarma deben mostrarse mediante un elemento codificado de forma redundante (forma, color, texto) que indique la presencia y prioridad de la alarma. Ingresar al indicador de alarma puede activar su

información de racionalización. Los colores de alarma no se utilizan para fines que no sean de alarma.

Los colores brillantes se utilizan para llamar la atención sobre situaciones anormales, no para mostrar situaciones normales. Un fondo gris y colores apagados minimizan el brillo y la reflexión de la pantalla, lo que facilita una sala de control bien iluminada. Una paleta de colores y los usos adecuados de cada color se determinan de antemano. HPHMI no está eliminando el color o simplemente convirtiendo los gráficos a escala de grises.

2.17.2. JERARQUÍA DE GRÁFICOS

Las pantallas deben diseñarse en una jerarquía que proporcione una exposición progresiva de los detalles. Las pantallas diseñadas a partir de una pila de P&ID no tendrán esto; serán planos, como el disco duro de una computadora con una carpeta para todos los archivos.

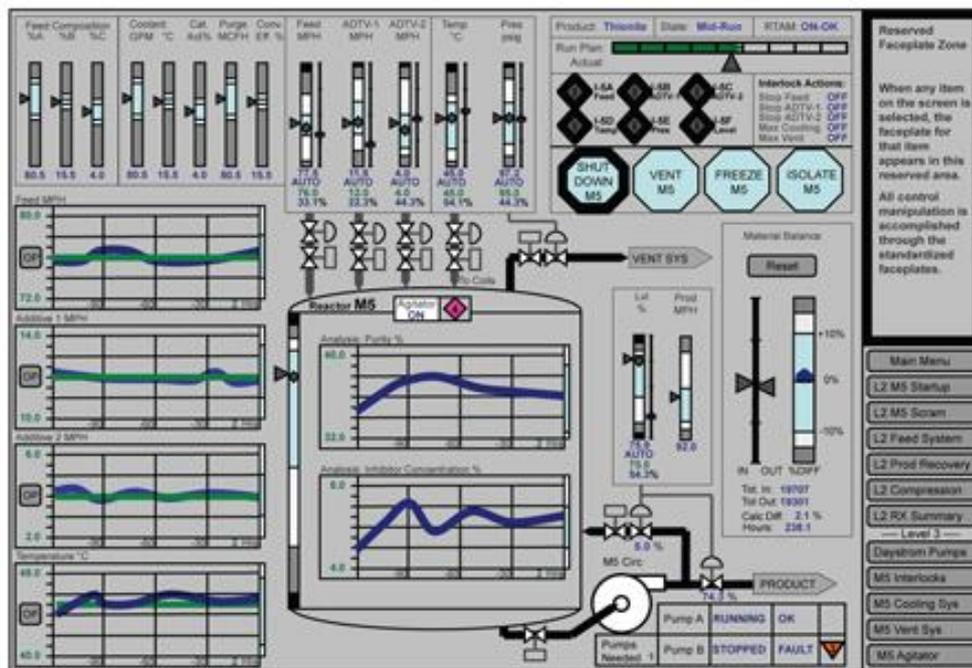
La jerarquía comienza con una Descripción general del área de proceso de nivel 1. Esta es una pantalla de imagen grande que muestra todo el rango de control del operador. Es un indicador general de cómo se está ejecutando el proceso. Representa la información más importante y los indicadores clave de rendimiento. La Descripción general es un buen uso de una pantalla de pared de gran formato. Las interacciones de control no se realizan desde esta pantalla.

Cada proceso consiste en operaciones unitarias más pequeñas y separadas. Algunos ejemplos pueden incluir un compresor, reactor, segmento de tubería, tren de destilación, horno, generador o sistema de alimentación. Una pantalla de la Unidad de proceso de nivel 2 se muestra en la siguiente figura y es el gráfico principal para las manipulaciones detalladas de vigilancia y control. Contiene toda la información y los

controles necesarios para realizar la mayoría de las tareas del operador asociadas con esa parte del proceso. Esto no se puede lograr simplemente replicando un P&ID. Un operador típico podría tener una docena de gráficos de Nivel 2.

Al ingresar en cualquier valor o elemento, aparece la placa frontal detallada para ese elemento en particular, a través del cual se realizan los ajustes. En este ejemplo, la placa frontal es un elemento que aparece en el área reservada superior derecha. Las placas frontales no deben ocultar la parte principal del gráfico. Dos alarmas están vigentes en este reactor.

Figura 2.25: Ejemplo de pantalla de nivel 2 de un reactor.



Fuente: (Hollifield, 2012)

Las tendencias integradas con indicaciones del rango deseable se utilizan en todos los gráficos HPHMI. La capacidad de tendencia bajo demanda del sistema de control funciona mal en la práctica real.

Los gráficos detallados de la unidad de proceso de nivel 3 abordan una sola pieza de equipo o esquema de control. Estos se utilizan para un diagnóstico detallado de

problemas. Un tipo de representación aumentada de P&ID es a menudo deseable para pantallas de Nivel 3. La mayoría de los gráficos existentes en el mundo pueden considerarse gráficos mejorados de Nivel 3.

Las pantallas de diagnóstico de proceso de nivel 4 proporcionan la mayor cantidad de detalles de subsistemas, sensores individuales o componentes. Las pantallas, como Detalle de punto, son de nivel 4.

El desarrollo de una jerarquía no tiene que ser un esfuerzo complejo y costoso. Para los sistemas existentes, la mayoría de los beneficios de HPHMI se pueden obtener mediante la creación de unas 20 pantallas nuevas, normalmente un Nivel 1, una docena de Nivel 2 y algunas pantallas nuevas de Situación anormal. Los gráficos existentes se designan como Nivel 3. Esto será algo inconsistente, pero la mayoría de los gráficos existentes ya son inconsistentes. Con el tiempo, los niveles 3 pueden mejorarse.

Hay docenas de mejoras de representación adicionales y temas de HMI abordados en detalle en *The High Performance HMI Handbook*, disponible a través de ISA Publishing.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO, NIVEL Y TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación es experimental, porque es un tipo de investigación que utiliza la lógica y los principios encontrados en las ciencias y que serán implementados en la empresa minera CIA CASAPALCA. La esencia de esta concepción de experimento es que requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados. Los experimentos pueden ser llevados a cabo en el laboratorio o en la vida real. Aquí se involucran un número relativamente pequeño de personas o equipos y abordan una pregunta bastante enfocada. Los experimentos son más efectivos para la investigación explicativa y frecuentemente están limitados a temas en los cuales se puede manipular la situación en la cual las personas se hallan.

3.1.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación se refiere a la profundidad del conocimiento que se busca lograr con la investigación, por tanto, el nivel de la presente investigación es exploratoria, señalando que las investigaciones exploratorias buscan abrir nuevos caminos en el desarrollo del conocimiento humano y la productividad. Y la presente investigación busca abrir nuevos caminos hacia la automatización de procesos industriales.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

El universo finito o población está dado por el número total de filtros en CIA Casapalca, es decir, 3. Por lo tanto para hallar la muestra con un error del 5% (0.05), con un nivel de confianza del 90%, una probabilidad de ocurrencia o éxito de 0.9 y una probabilidad de no ocurrencia o fracaso de 0.1; se procede a hallar la muestra con la fórmula para calcular el tamaño de muestra cuando se conoce el tamaño de la población y es la siguiente:

$$n = \frac{N \cdot Z_a^2 \cdot p \cdot q}{d^2 \cdot (N-1) + Z_a^2 \cdot p \cdot q} \quad (3.1)$$

En donde:

N = tamaño de la población

Z_a = nivel de confianza

p = probabilidad de éxito o proporción esperada

q = probabilidad de fracaso

d = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción).

Si tenemos los valores N=3, Z_a=1.645 (nivel de confianza 90%), p=0.9, q=0.1 y d=0.05

La muestra resulta con el valor de 2.93. Es decir que sería necesario realizar la investigación por lo menos en 3 filtros en CIA Casapalca para obtener los resultados deseados.

Sin embargo, se considerará un muestreo no probabilístico al tener todos los filtros las mismas normas generales de gestión, administración y mantenimiento que hace que se tome como caso estudio al filtro marca Sperry en la planta concentradora de CIA Casapalca. La muestra no servirá para hacer generalizaciones, pero sí para el estudio exploratorio, se ha elegido a los individuos utilizando diferentes criterios relacionados con las características de la investigación y está determinado por el autor.

3.3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló en:

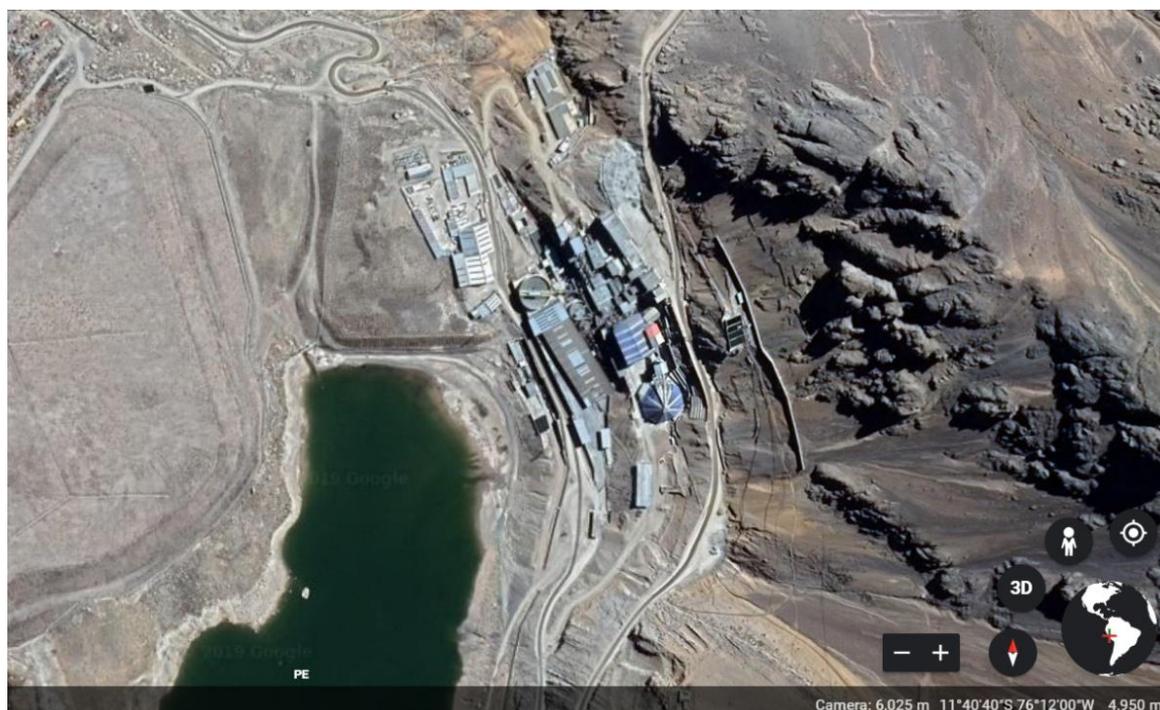
Región: Lima

Provincia: Huarochirí

Distrito: Chilca

Las coordenadas son 11°40'40''S 76°12'00''W 4950msnm.

Figura 3.1: Ubicación del Lugar utilizando Google Earth



Elaboración Propia

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. TÉCNICAS

Las técnicas utilizadas en esta investigación son la observación que es una técnica de recopilación de datos semi-primaria por la cual el investigador actúa sobre los hechos a veces con la ayuda de algunos instrumentos, otra técnica es la revisión de los registros de equipos electrónicos que se usan en el proceso de estudio; y también se revisan los reportes que proveen todas los departamentos u oficinas que han generado y que tienen que ver con el proceso de estudio. También es posible diseñar e implementar dispositivos especialmente destinados para la investigación y que están basados en hardware y software que permitan recolectar datos.

3.4.2. INSTRUMENTOS

Los instrumentos a utilizar son la guía de observación de campo que son pasos que adopta el investigador a fin de hacer una buena estrategia para observar los hechos, por supuesto, para obtener de manera fiable los datos, es necesario usar instrumentos formales basados en hardware y software que almacenan datos de los eventos que suceden en los procesos, también se revisan los registros de los equipos electrónicos que se usan en el proceso de estudio, éstos registros residen en archivos que están almacenados en memorias y discos duros, otro instrumento utilizado son los reportes generados por los departamentos y oficinas que intervienen en el proceso de estudio.

3.5. LIMITACIONES

Las limitaciones son los procesos que no están dentro de los objetivos específicos de la investigación.

- Instalación de una infraestructura nueva.

- Instalación de un sistema hidráulico
- Instalación de los pistones hidráulicos.
- Instalación de un sistema de lavado de lonas y bomba de agua.
- Instalación de un sistema de recirculación de pulpa.

Las técnicas que se usaron para la recolección de datos se separaron en dos etapas y fueron las siguientes:

3.6. PRIMERA ETAPA: DESCRIPTIVA

En esta etapa se utilizó las buenas prácticas especificadas en la implementación de un proyecto de la guía del PMBOK, se desarrolló el Acta de Constitución del Proyecto ya que dentro de sus herramientas y técnicas se usa el Juicio de Expertos, juicio que en está basado en la experiencia. Para este caso es la experiencia de los Stakeholders (Operadores de filtrado, Jefes de guardia y Supervisor de despacho). En este proceso los involucrados brindan información de requerimientos, estrategias de control y parámetros a ser considerados para el desarrollo del proyecto. A si mismo se brinda el alcance y criterios que se tomarán en cuenta para el éxito del proyecto.

Del Acta de Constitución del Proyecto se toman los requisitos que se enfocan al logro de los objetivos de la presente tesis, los cuales son los siguientes:

- Reducir las horas/hombre empleadas en el proceso de limpieza y recuperación de residuos que van a parar a la cochas, producto de la limpieza de lonas del Filtro Sperry.
- Tener control en el tiempo de secado.
- Centralizar el control de todas las etapas del proceso en una solo Tablero de Control.

Esto requisitos preliminares se tomaron en cuenta para la Documentación de Requisitos, documento en el cual se detalla los requisitos funcionales.

Tabla 3.1: Acta de constitución del proyecto.

| ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO | | |
|---|--|---|
| NOMBRE DEL PROYECTO | | SIGLAS DEL PROYECTO |
| AUTOMATIZACIÓN DE FILTRO SPERRY | | AUTO-SPERRY |
| DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO: QUÉ, QUIÉN, CÓMO, CUÁNDO Y DÓNDE? | | |
| <p>El proyecto “Automatización de filtro Sperry”, consiste en la implementación de un sistema automatizado del Filtro Prensa Sperry, filtro usado para el secado de concentrado de Plomo.</p> <p>El proyecto de automatización consistirá en lo siguiente :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se implementará un Sistema de Recirculación de concentrado de Plomo. - Reducir el tiempo de ciclo de filtrado de concentrado de plomo de 90 minutos a 60 minutos. - Se optimizará el uso de aire de secado. <p>El desarrollo del proyecto estará a cargo de la Superintendencia de Mantenimiento Planta, con los siguientes miembros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ing. Jony Paulino --> Superintendente de Mantenimiento Planta - Ing. Christian Condori Colque --> Jefe de Mantenimiento Eléctrico/Electrónico - Bach. Eden Medina Rojas --> Asistente de Mantenimiento <p>El proyecto será realizado desde el 14 de enero del 2019 hasta el 31 de mayo del 2019. El proyecto será realizado en las instalaciones del área de Filtrado, Planta Concentradora de CIA. Minera Casapalca.</p> | | |
| DEFINICIÓN DE REQUISITOS DEL PROYECTO: DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS FUNCIONALES, NO FUNCIONALES, DE CALIDAD, ETC., DEL PROYECTO/PRODUCTO | | |
| <p>El sponsor tiene los siguientes requisitos.</p> <p>Cumplir con los acuerdos presentados en la propuesta, y respetar los requerimientos dados por el cliente.</p> <p>El cliente tiene los siguientes requisitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducir las horas/hombre empleadas en el proceso de limpieza y recuperación de residuos que van a parar a la cochas, producto de la limpieza de lonas del Filtro Sperry. - Tener control en el tiempo de secado. - Centralizar el control de todas las etapas del proceso en una solo Tablero de Control. - Implementar un sistema de lavado de lonas. - El concentrado de plomo deberá tener una humedad entre 6-8%. - Como estrategia de mantenimiento se considerará el overhaull de la unidad hidraulica y el cambio de pistones, debido a la antigüedad del equipo. | | |
| OBJETIVOS DEL PROYECTO: METAS HACIA LAS CUALES SE DEBE DIRIGIR EL TRABAJO DEL PROYECTO EN TÉRMINOS DE LA TRIPLE RESTRICCIÓN. | | |
| CONCEPTO | OBJETIVOS | CRITERIO DE ÉXITO |
| 1. ALCANCE | <ul style="list-style-type: none"> - Recuperar la mayor cantidad de residuos de concentrado de plomo. - Reducir los tiempos de Filtrado por ciclo. Tiempo actual entre 90 a 120 min. - Optimizar la demanda de aire de secado de Filtro Sperry. | <ul style="list-style-type: none"> - No tener acumulación de residuos en cocha de recuperación. - Ciclo de Filtrado menor al tiempo actual. - Reducir las horas de operación de compresoras. |
| 2. TIEMPO | Concluir el proyecto según cronograma. 30/05/2019 | Cumplir con el plazo establecido |
| 3. COSTO | Cumplir con el presupuesto asignado para el proyecto. | No superar el 15% del presupuesto asignado al proyecto. |
| FINALIDAD DEL PROYECTO: FIN ÚLTIMO, PROPÓSITO GENERAL, U OBJETIVO DE NIVEL SUPERIOR POR EL CUAL SE EJECUTA EL PROYECTO. ENLACE CON PROGRAMAS, PORTAFOLIOS, O ESTRATEGIAS DE LA ORGANIZACIÓN. | | |
| Automatizar e integrar procesos del Filtro Sperry | | |
| JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO: MOTIVOS, RAZONES, O ARGUMENTOS QUE JUSTIFICAN LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO. | | |
| <p>Actualmente el proceso de Filtrado de Concentrado de Plomo se viene realizando a través de un filtro tipo prensa marca Sperry, viene operando de forma manual lo cual presenta las siguientes dificultades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El filtro no cuenta con recirculación de residuos producto del lavado de lonas y bandeja. Todos estos residuos van directamente a unas cochas de recuperación. - Se tiene un tiempo de filtrado por ciclo muy prolongado, comparado con los filtros de cobre y zinc. - Demanda mucho caudal de aire para el secado de concentrado. <p>Por la razones mencionadas, urge la ejecución del proyecto. El mismo que adyuvará a prolongar el tiempo de vida útil del equipo.</p> | | |

Elaboración Propia.

3.6.1. DOCUMENTACIÓN DE REQUISITOS

En la documentación de Requisitos se detallaron los requisitos funcionales de los stakeholders.

Tabla 3.2: Documentación de requisitos.

| DOCUMENTACION DE REQUISITOS | | | |
|---|---------------------------------------|---------------------|--|
| NOMBRE DEL PROYECTO | | SIGLAS DEL PROYECTO | |
| AUTOMATIZACIÓN DE FILTRO SPERRY | | AUTO-SPERRY | |
| NECESIDAD DEL NEGOCIO U OPORTUNIDAD A APROVECHAR: DESCRIBIR LAS LIMITACIONES DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y LAS RAZONES POR LAS CÚALES SE EMPRENDE EL PROYECTO. | | | |
| SE TIENE UN TIEMPO PROLONGADO POR CICLO DE FILTRADO EN EL CONCENTRADO DE PLOMO. | | | |
| LA OPERACIÓN ES MANUAL, OPERADOR TIENE 4 TABLEROS PARA CONTROLAR EL PROCESO | | | |
| DEMANDA MUCHO CAUDAL DE AIRE PARA EL SECADO DE CONCENTRADO DE PLOMO. | | | |
| NO SE CUENTA CON RECIRCULACIÓN DE RESIDUOS DE LAVADO DE LONAS Y BANDEJA. | | | |
| OBJETIVOS DEL NEGOCIO Y DEL PROYECTO: DEFINIR CON CLARIDAD LOS OBJETIVOS DEL NEGOCIO Y DEL PROYECTO PARA PERMITIR LAS TRAZABILIDAD DE ÉSTOS. | | | |
| REDUCIR EL TIEMPO DEL CICLO DE FILTRADO DE CONCENTRADO DE PLOMO A 30 MINUTOS. | | | |
| AUTOMATIZAR TODAS LAS ETAPAS DEL CICLO DE FILTRADO | | | |
| OPTIMIZAR LA DEMANDA DE AIRE DE SECADO. | | | |
| REQUISITOS FUNCIONALES: DESCRIBIR PROCESOS DEL NEGOCIO, INFORMACIÓN, INTERACCIÓN CON EL PRODUCTO, ETC. | | | |
| STAKEHOLDER | PRIORIDAD OTORGADA POR EL STAKEHOLDER | REQUISITOS | |
| | | CÓDIGO | DESCRIPCIÓN |
| OPERACIONES | MUY ALTO | RE01 | Recuperar residuos de concentrado mediante un sistema de recirculación. Implementando un cajón y una bomba. El control deberá ser automático. Prender la bomba cuando llegue a un nivel deseado y apagar automáticamente cuando llegue al nivel bajo. |
| | MUY ALTO | RE02 | Minimizar el tiempo de ciclo de filtrado. Las etapas que toman más tiempo según la experiencia de los operadores es la etapa de alimentación y la de secado. En la etapa de alimentación, porque no tienen un control automático, prenden la bomba y la regulan a una misma velocidad 1200 rpm. No cuentan con un indicador de presión, para poder regular la velocidad de alimentación de la bomba. |
| | ALTO | RE03 | Implementar un control de tiempo de secado. El tiempo deberá poder ser parametrizado en el HMI. Un mayor tiempo de secado demanda más aire comprimido. Y en calidad baja por debajo de 6% de humedad. Deberá contar con un control automático de esta etapa. |
| | ALTO | RE04 | Se deberá centralizar todas las etapas inmersas en el proceso de filtrado. Esto conlleva a la integración del proceso de llenado de Holding Tank de Plomo. Actualmente se cuenta en total con 4 tableros para controlar el proceso. Se deberá centralizar en uno solo. |

Elaboración Propia.

De la Documentación de Requisitos se obtuvo las siguientes conclusiones:

- Para solucionar la recuperación de residuos de la etapa del lavado de lonas, se requiere la implementación de un cajón y una bomba de recirculación. Se sugirió un control automático de nivel. Control on-off.
- Para minimizar el tiempo de ciclo de filtrado se requiere analizar los tiempos en las etapas de alimentación y la etapa de secado. Se requiere implementar un control de presión para la etapa de alimentación.
- Para optimizar la demanda de aire se requiere controlar el tiempo de secado.
- Se deberá centralizar todas las etapas del proceso en un solo tablero para la operación.

3.7. SEGUNDA ETAPA: EXPERIMENTAL

Una vez que se recopiló la información en la etapa de entrevista, se procedió a la etapa experimental.

3.7.1. FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

En una planta industrial, un sistema de control de circuito cerrado tiene la función de mantener una señal física medida a un valor predefinido (punto de ajuste). La señal física, también llamada variable controlada. La diferencia entre la variable controlada (medida) y el valor predefinido se llama error.

La entrada del controlador es el error y la salida del controlador es una señal de actuación que se envía a un actuador. La variable controlada se mide más con un sensor y la información se retroalimenta al controlador.

La diferencia entre el punto de ajuste y la salida de la planta (medida) ocurre debido a las perturbaciones que afectan la planta (proceso). La función del controlador es

rechazar estas perturbaciones y mantener la salida de la planta (variable controlada) al valor predefinido (punto de ajuste).

Las formas en que el controlador reacciona al error se llaman leyes de control o modos de control. En aplicaciones industriales se utilizan varias leyes de control, la mayoría de ellas son control de encendido/apagado (ON/OFF), control PID u otras leyes.

El control de encendido y apagado es la forma más simple de un controlador, que se enciende cuando el error es positivo y se apaga cuando el error es cero o negativo. Un controlador de encendido y apagado no tiene estados intermedios, sino solo estados completamente ENCENDIDO o completamente APAGADO. Debido a la lógica de conmutación, un controlador de encendido/apagado a menudo se llama un controlador bang-bang o un controlador de dos pasos.

Independientemente del tamaño del error, la salida del controlador de encendido y apagado solo puede estar completamente ENCENDIDO o completamente APAGADO, no es proporcional al error (Boylestad & Nashelsky, 2012).

En este caso el control es de nivel. El nivel se mide con un sensor y se retroalimenta al controlador. Según el error (diferencia entre el nivel de consigna y el nivel medido), el controlador enciende o apaga una bomba. No hay valores intermedios del elemento bomba, está completamente ENCENDIDA o completamente APAGADA.

El proceso tiene dos características importantes que deben explicarse, ya que afectan la respuesta del controlador:

- Tiempo muerto.
- Capacitancia (inercia).

En la mayoría de los sistemas de control con circuito de retroalimentación, el sistema no puede responder instantáneamente a ninguna perturbación y toma tiempo (demora) hasta que la salida del controlador tenga algún efecto en la salida medida (planta). Este retraso de tiempo se conoce como tiempo muerto. El tiempo muerto tiene el efecto de ocultar la perturbación del controlador y limita su capacidad de reaccionar rápidamente.

La capacitancia de un sistema se ve como la resistencia a las entradas cambiantes. Cuanto mayor es la capacitancia de un sistema, más tiempo tarda en reaccionar a los cambios. La ventaja es que la capacitancia tiene la tendencia a filtrar (amortiguar) el efecto de las perturbaciones en un sistema.

En la teoría de los sistemas de control, nuestro caso se puede definir como un proceso de primer orden con tiempo muerto. La función de transferencia de un proceso de primer orden con tiempo muerto es:

$$H(s) = \frac{K}{T \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau s}$$

Dónde:

- K es la ganancia.
- T es la constante de tiempo.
- T es el tiempo muerto.

La constante de tiempo es una medida de la capacitancia del sistema. Cuanto mayor sea la constante de tiempo, más tiempo le tomará al sistema reaccionar ante cambios en las entradas o perturbaciones.

Ahora se implementa un controlador de encendido y apagado para un sistema de control de nivel con los siguientes parámetros:

Respuesta de bucle abierto del nivel en entrada escalonada: 100%

- Periodo (tiempo que toma el proceso): 72.3 minutos o 4338 segundos.
- Tiempo muerto del proceso (ideal): 0 segundos

Que controlará la bomba para encenderla si el nivel es de 30% o mayor.

Si el periodo P o tiempo que toma el proceso es de 4338 segundos, entonces la relación que hay entre la frecuencia f, el periodo P y la constante de tiempo T es:

$$f = \frac{1}{P} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot T}$$

Por lo tanto, la constante de tiempo T es 690.41 segundos.

Por otra parte, la ganancia del sistema es 1 que al mismo tiempo es la atenuación de un sistema ideal.

A partir de los parámetros de entrada, podemos escribir la función de transferencia de la planta como:

$$H(s) = \frac{1}{690.41 \cdot s + 1} \cdot e^{-0s} = \frac{1}{690.41 \cdot s + 1}$$

La planta se puede modelar como una función de transferencia de primer orden con un retraso de arreglo continuo, sin embargo, este retraso e^{-0s} se considera 1 al buscar el comportamiento ideal.

El controlador de encendido y apagado se puede modelar con un interruptor dinámico, que puede emitir la función 1 (ON) o 0 (OFF) del signo del error. En una simulación esto se logra con una condicional if else.

Se procede a generar una simulación del sistema usando la función de transferencia y la lógica descrita anteriormente, el código se muestra a continuación en el software GNU Octave, que es una herramienta para análisis matemático muy parecido a Matlab. Antes de ejecutar el siguiente código es necesario activar el módulo de control dentro de GNU Octave con el siguiente comando (Bertotti & Mayergoyz, 2006).

```
pkg load control
```

Luego se ejecuta el siguiente código.

```
O=72.3;  
P=72.3*60;  
fa=1/P;  
wa=2*pi*fa;  
fs=1;  
tiv=1/fs;  
tend=8*3600;  
t=0:tiv:(tend-tiv);  
A=100;  
y=50*sin(wa*t)+50;  
K=1;  
T=690.41;  
dt=30;  
fil=tf([K],[T 1]);  
d2=lsim(fil,y,t);  
N=length(t);  
d1=zeros(1,N);  
for tt=1:N,  
    if d2(tt)>30  
        d1(tt)=1;  
    else  
        d1(tt)=0;  
    end;  
end;  
subplot(3,1,1)  
plot(t,y,'k');  
axis([0 tend 0 110]);  
xlabel('tiempo (s) ');  
ylabel('Nivel (%) ');  
title('Entrada');  
subplot(3,1,2)  
plot(t,d2,'k');  
axis([0 tend 0 110]);  
xlabel('tiempo (s) ');
```

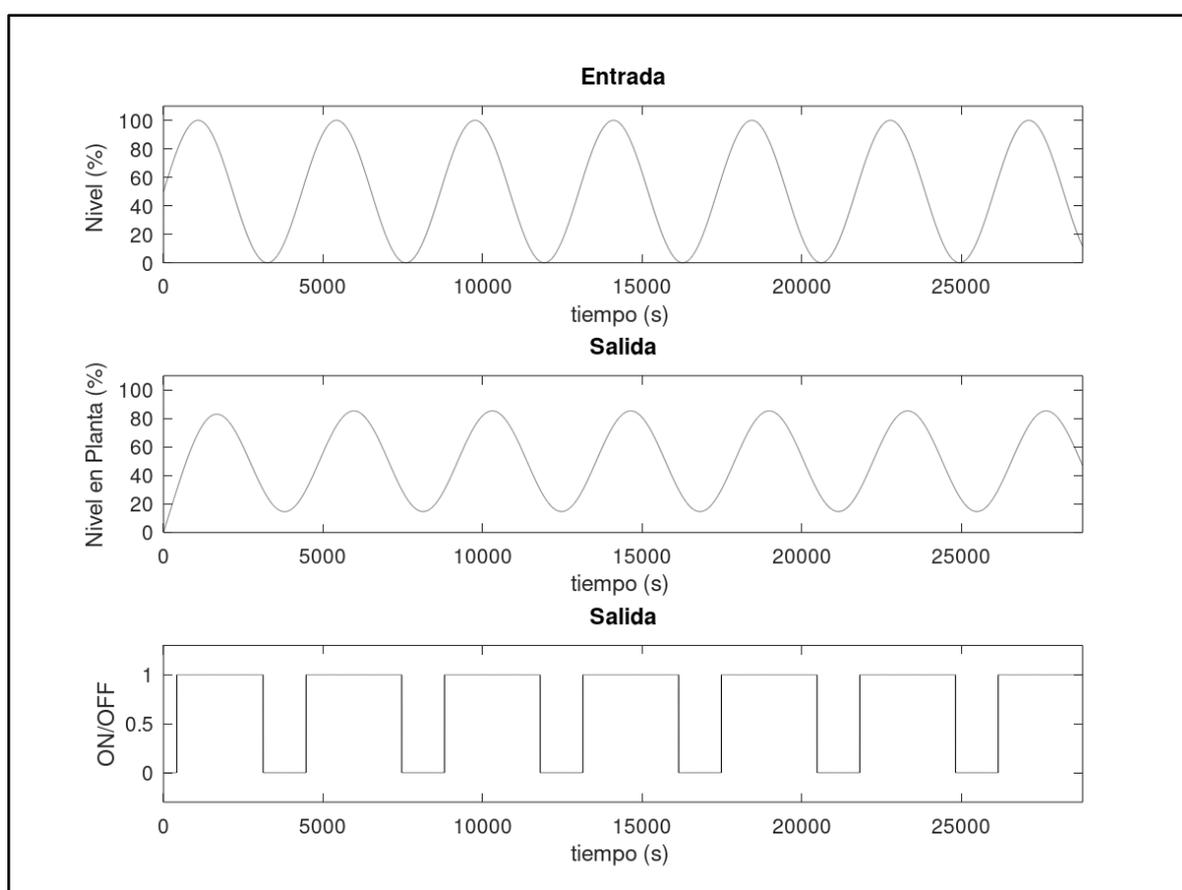
```

ylabel('Nivel en Planta (%)');
title('Salida');
subplot(3,1,3)
plot(t,d1,'k');
axis([0 tend -0.3 1.3]);
xlabel('tiempo (s) ');
ylabel('ON/OFF');
title('Salida');

```

Claramente se puede ver la lógica if else, el sensor de nivel en la entrada tiene una unidad de medida en porcentajes, mientras que la salida muestra si se enciende la bomba con un uno lógico o sea apaga con un cero lógico. El umbral para encender la bomba es un nivel de 30%. La siguiente gráfica muestra el resultado.

Figura 3.2: Entrada y salida de la simulación del sistema.



Elaboración Propia.

Podemos ver cómo el controlador de encendido/apagado está cambiando la salida de ON a OFF alrededor del valor del punto de ajuste. La conmutación constante, con alta frecuencia alrededor del punto de ajuste, puede provocar tensión en los actuadores y posibles fallas. Por esta razón, la mayoría de los controles de encendido y apagado tienen una histéresis integrada.

El controlador de encendido y apagado con histéresis no cambiará alrededor del punto de ajuste sino entre un límite superior y uno inferior. De esta manera, la frecuencia de la conmutación disminuirá, pero la variación (sobreimpulso) alrededor del punto de ajuste aumentará.

El error ya no se compara con cero sino con un valor de histéresis. Cuanto mayor sea el valor de histéresis, menor será la frecuencia de conmutación y mayor será el sobreimpulso.

Para nuestro caso, si el nivel de umbral se establece en 30% y la histéresis en 4%, el controlador de encendido y apagado se encenderá cuando el nivel sea superior a 32% y se apagará cuando sea inferior a 28%.

3.7.2. ELABORACIÓN DE PLANO P&ID

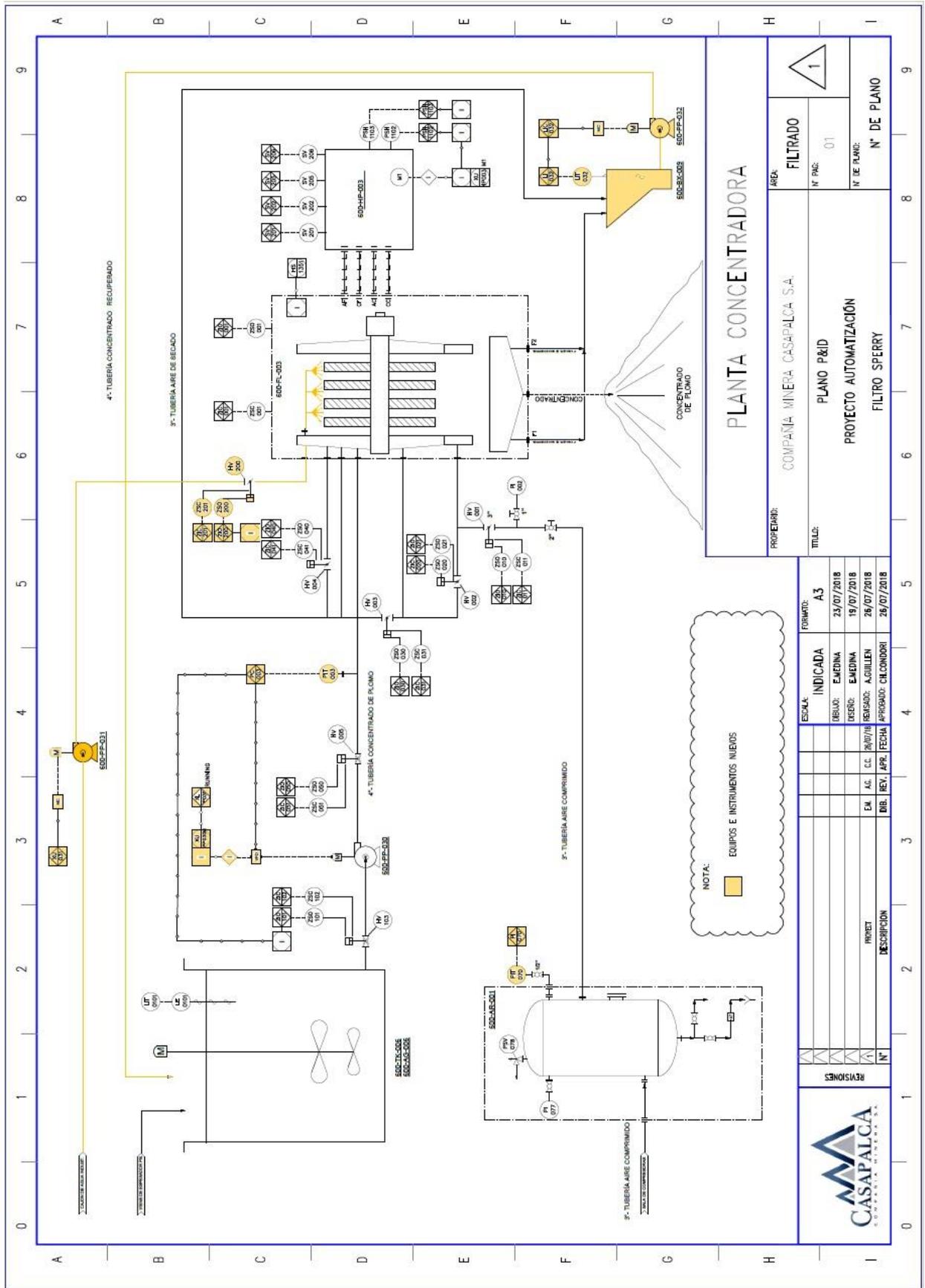
Como primer paso para el diseño, se realizó el levantamiento de información de campo. Luego se elaboró el plano P&ID en el cual se detalla instrumentos y equipos instalados. El plano ayuda en la identificación de los equipos e instrumentos, esto facilita la identificación estándar de equipos e instrumentos ya sea en la instalación como en la programación.

En el levantamiento de información se evidenció que no se contaba con una etapa de recirculación de residuos, para lo cual se planteó la instalación de un cajón y una bomba. A los cuales se le asigna los tags 600-BX-009 y 600-PP-032. Para la medición de

nivel se seleccionó un sensor de medición continua y se le asigna el tag 600-LIT-032. A fin de evitar derrames del cajón se implementará un control on-off.

En la tubería de alimentación no se contaba con un sensor de presión, siendo este indispensable para tener un correcto control en el llenado de placas, en la etapa de alimentación. Se le asigna el tag 600-PIT-003.

Figura 3.3: Plano P&ID.



Elaboración Propia.

Para la selección de Instrumentos nuevos tuvo las siguientes consideraciones:

Tabla 3.3: Consideraciones para instrumentos nuevos.

| Item | Descripción | TAG | Características |
|---|-------------------|-------------|---|
| 1 | Sensor de Nivel | 600-LIT-032 | Medición Continua. Señal: 4-20 mA . Rango 0-2 mts |
| 2 | Sensor de Presión | 600-PIT-003 | Señal: 4-20 mA Rango: 0-10 bar Fluido: Concentrado de Plomo Conexión a Proceso: Brida 2" |
| NOTA: Todos los instrumentos deberán tener grado de protección IP 66 | | | |

Elaboración Propia.

Se seleccionó los instrumentos de la siguiente tabla debido a que cumplen con los requisitos solicitados:

Tabla 3.4: Materiales para instrumentación.

| MATERIALES PARA INSTRUMENTACIÓN | | | | |
|---------------------------------|----------|---|---------|------------------|
| ITEM | CANTIDAD | DESCRIPCION | MARCA | MODELO |
| 1 | 1 | Transmisor de nivel, 4-20 mA, 0-6 mts, Ultrasónico | SIEMENS | SITRANS PROBE LU |
| 2 | 1 | Transmisor de Presión 4-20 mA, 30 VDC, 10 bar , Bridado | VEGA | BR64.XXFQ3GH8NAX |

Elaboración Propia.

3.7.3. PROCESO DE FILTRADO

El proceso de filtrado de concentrado de plomo consta de 5 pasos como se aprecia en el siguiente diagrama de bloques.

Figura 3.4: Proceso de filtrado.



Elaboración Propia.

Las etapas de Cerrado de Filtro, Secado, Apertura de Filtro y Descarga eran controladas desde un tablero de control suministrado con el equipo.

La etapa de alimentación era controlada desde otro tablero. Dentro de los requerimientos de los stakeholders, en la documentación de requisitos se solicitó integrar todas las etapas en un solo tablero de control.

Previo a la etapa de filtrado el mismo operador debe controlar el llenado del Holding Tank de Plomo. Y este proceso lo controlaba desde dos tableros adicionales.

En la siguiente imagen se grafica la ubicación de los tableros que el operador tenía que operar, a continuación, una descripción de los mismos.

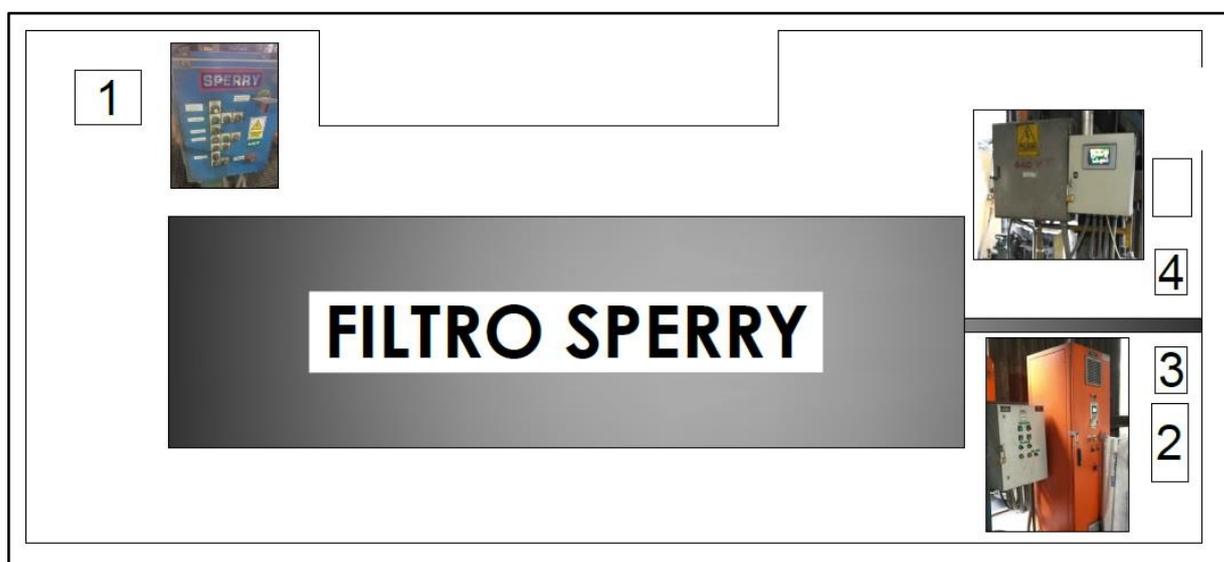
1-En esta sección se ubica el tablero de control del Filtro Sperry.

2-En este lugar se ubica el tablero del Variador para la Bomba de Alimentación del Filtro Sperry.

3-Junto al Variador se encuentra el encendido de motor del Agitador de Holding Tank.

4-Finalmente se puede observar el tablero de Control llenado de Holding Tank.

Figura 3.5: Ubicación de los tableros para el operador.



Elaboración propia

3.7.4. REGISTRO DE TIEMPO DE CICLO DE FILTRADO

Para el registro se realizó el cronometrado del tiempo total del ciclo de filtrado, en la siguiente tabla se muestra los tiempos que realizan dos operadores en turnos distintos.

Tabla 3.5: Cronometrado de ciclo de filtro Sperry.

| Cronometrado de Ciclo de Filtro Sperry | | |
|---|-------------------------------|-------------------------------|
| Etapas | Operador 1 t = min | Operador 2 t = min |
| Cerrado de Filtro | 5 | 5 |
| Alimentación | 18 | 20 |
| Secado | 60 | 75 |
| Apertura de Filtro | 5 | 5 |
| Descarga | 10 | 15 |
| Tiempo total | 98 | 120 |

Elaboración propia

Para tomar una muestra más representativa se realizó la toma de muestras por el lapso de 10 días, se realizaron dos muestras por día y se sacó un promedio por día. Hubo días que solo se realizaba un ciclo debido a que no tenían pulpa de concentrado de plomo con la densidad deseada para el proceso de filtrado.

Lo que se pudo observar en los tiempos prolongados, era debido a que los operadores seleccionan la etapa de secado y se van a operar los filtros de Cobre y Zinc. Al no tener un control del tiempo de secado necesariamente el operador tenía que ir a apagar esta etapa. Esto podría solucionarse con un control de tiempo, el cual el operador pueda programar el tiempo de secado y al termino se apague automáticamente.

Vemos que las etapas de Alimentación y Secado son las que toman más tiempo en el ciclo de filtrado. Es en estas etapas en las que se debe realizar una optimización, con los requerimientos de los stakeholders.

Tabla 3.6: Cronometrado de Ciclo Filtro Sperry Tiempo promedio por día.

| Cronometrado de Ciclo Filtro Sperry Tiempo promedio por día | | |
|--|--------------|--------------------------|
| | Fecha | Tiempo t= min |
| 1 | 12/11/2018 | 99 |
| 2 | 13/11/2018 | 121 |
| 3 | 14/11/2018 | 115 |
| 4 | 15/11/2018 | 97 |
| 5 | 16/11/2018 | 106 |
| 6 | 17/11/2018 | 125 |
| 7 | 18/11/2018 | 132 |
| 8 | 19/11/2018 | 96 |
| 9 | 20/11/2018 | 120 |
| 10 | 21/11/2018 | 94 |
| Tiempo promedio | | 111 |

Elaboración propia

Con estos datos recopilados se tuvo que el tiempo promedio por ciclo era de 111 min.

3.7.5. REGISTRO DE HORAS DE OPERACIÓN DE COMPRESORA

Para registrar la demanda de aire se utilizó las horas de operación de la compresora asignada al Filtro Sperry. Puesto a que, si se tiene una mayor demanda, se tendrá un mayor número de horas de operación de la compresora

Para el registro de horas de operación de la compresora EP250 INGERSOLL RAND, se realiza el registro del cuaderno de inspecciones mensuales y se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 3.7: Registro de Horómetro Compresora EP250, Ingersoll Rand

| Registro de Horómetro Compresora EP250, Ingersoll Rand | |
|---|-----------|
| Fecha | Horómetro |
| 22/10/18 | 18400 |
| 12/11/18 | 18775 |
| 16/12/18 | 19063 |
| 19/01/19 | 19639 |
| 15/02/19 | 20029 |
| 16/03/19 | 20522 |
| 13/04/19 | 21016 |
| 18/05/19 | 21628 |
| 25/06/19 | 22274 |

Elaboración propia

3.7.6. REGISTRO DE LIMPIEZA DE COCHAS

Este proceso se da una vez al mes. Para este proceso se utilizan 5 operadores los cuales trabajan un jornal de 8 horas en la labor de limpieza, lo cual da un total de 40 horas/hombre empleadas en la labor. El concentrado recuperado se pesa en la balanza multiplataforma, los registros se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.8: Registro para limpieza de cocha de plomo

| Registro Peso Limpieza Cocha de Pb | |
|------------------------------------|----------|
| Fecha | Peso= Tn |
| 29/11/2018 | 16.52 |
| 30/12/2018 | 14.86 |
| 28/01/2019 | 18.23 |
| 27/02/2019 | 13.54 |
| 25/03/2019 | 11.27 |
| 26/04/2019 | 16.92 |
| 24/05/2019 | 15.83 |

Elaboración propia

3.8. PLAN DE PROYECTO

Una vez que se realizó la recolección de datos y registro de los mismos, se realizó el plan de proyectos.

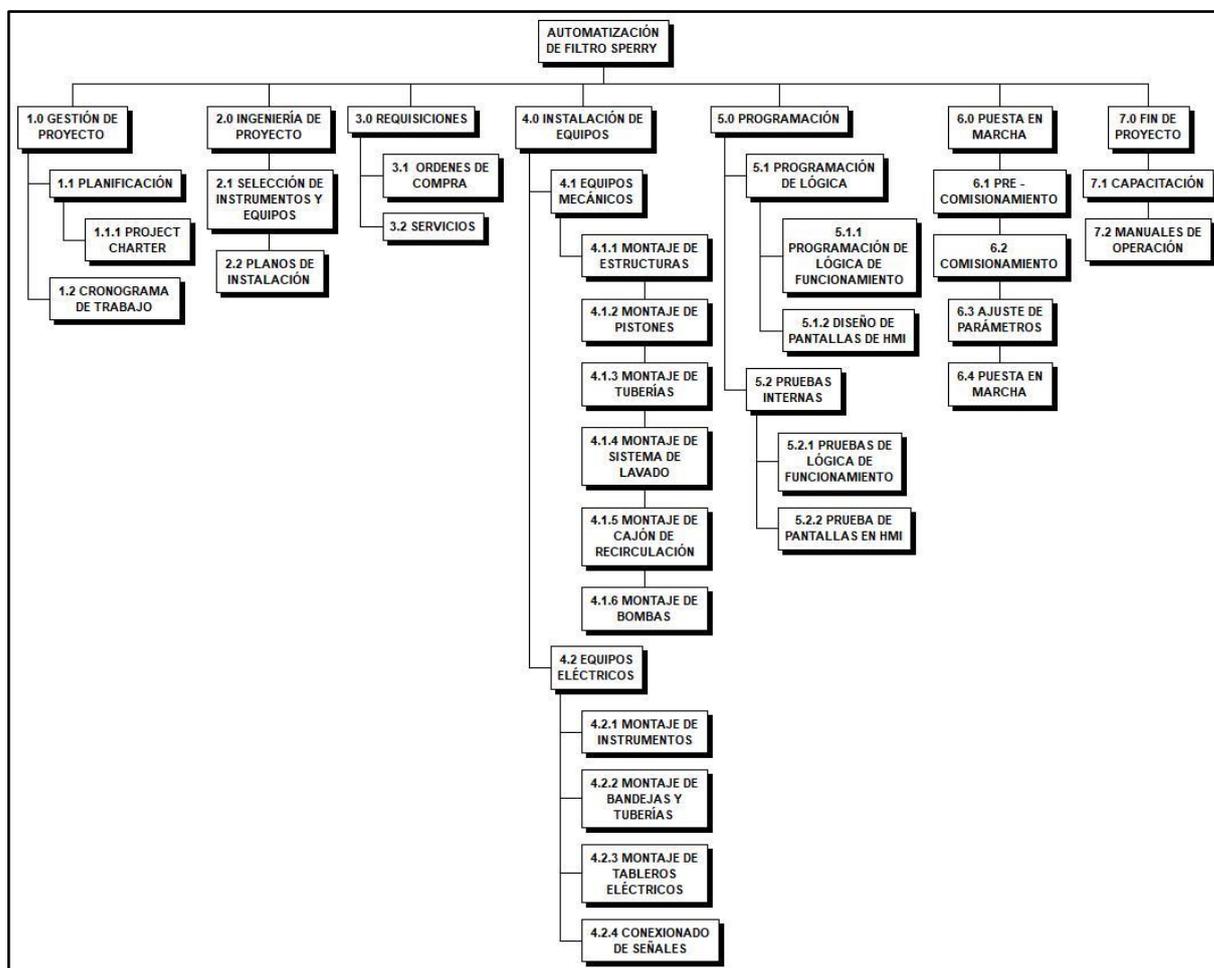
Tabla 3.9: Plan de Gestión del Proyecto.

| PLAN DE GESTION DEL PROYECTO | | | |
|--|---|--|---|
| <small>CICLO DE VIDA DEL PROYECTO Y ENFOQUE MULTIFASE: D ESCRIPCIÓN DETALLADA DEL CICLO DE VIDA DEL PROYECTO Y LAS CONSIDERACIONES DE ENFOQUE MULTIFASE (CUANDO LOS RESULTADOS DEL FIN DE UNA FASE INFLUYEN O DECIDEN EL INICIO O CANCELACIÓN DE LA FASE SUBSECUENTE O DEL PROYECTO COMPLETO).</small> | | | |
| CICLO DE VIDA DEL PROYECTO | | ENFOQUES MULTIFASE | |
| FASE DEL PROYECTO (º NIVEL DEL WBS) | ENTREGABLE PRINCIPAL DE LA FASE | CONSIDERACIONES PARA LA INICIACIÓN DE ESTA FASE | CONSIDERACIONES PARA EL CIERRE DE ESTA FASE |
| 1.0 GESTIÓN DEL PROYECTO | PROJECT CHARTER WBS DICCIONARIO WBS PRESUPUESTO | | |
| 2.0 INGENIERÍA DE PROYECTO | LISTADO DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS PLANOS DE INSTALACIÓN | DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS DE SKATEHOLDERS | DOCUMENTACIÓN DE INGENIERÍA DEL PROYECTO |
| 3.0 REQUISICIONES | ORDENES DE COMPRA ATENDIDAS PEDIDOS DE SERVICIO APROBADOS | SE DEBERÁ GENERAR LAS ORDENES DE COMPRA, SEGÚN LISTADO DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS | RECEPCIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS EN ALMACÉN DE PLANTA. |
| 4.0 INSTALACIÓN DE EQUIPOS | ESTRUCTURAS INSTALADAS TUBERÍAS INSTALADAS SISTEMAS DE LAVADO INSTALADOS CAJÓN DE RECIRCULACIÓN INSTALADO INSTRUMENTOS INSTALADOS TABLEROS ELÉCTRICOS INSTALADOS | PARA EL INICIO DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS SE DEBERÁ TENER TODOS LOS MATERIALES SOLICITADOS EN LAS ORDENES DE COMPRA | INSTALACIONES SIN OBSERVACIONES |
| 5.0 PROGRAMACIÓN | LÓGICA DE CONTROL PROBADA | SE DEBERÁ TENER EL TABLERO DE CONTROL INSTALADO Y SE DEBERÁ TENER CONECTADO TODAS LAS SEÑALES DE CONTROL | EQUIPO LISTO PARA PUESTA EN MARCHA |
| 6.0 PUESTA EN MARCHA | EQUIPOS COMISIONADOS FILTRO OPERATIVO | SE DEBERÁ TENER LA SECUENCIA DE EQUIPOS A COMISIONAR | CONCLUIDA ESTA ETAPA SE TENDRÁ EL FILTRO FUNCIONANDO EN MODO AUTOMÁTICO. |
| 7.0 FIN DE PROYECTO | INFORME FINAL MANUALES DE OPERACIÓN | EL INFORME FINAL SOLO PODRÁ SER ELABORADO AL TÉRMINO DE LA PUESTA EN MARCHA | CONCLUIDA LA ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL SE INICIARÁ CON EL CIERRE DEL PROYECTO |

Elaboración propia

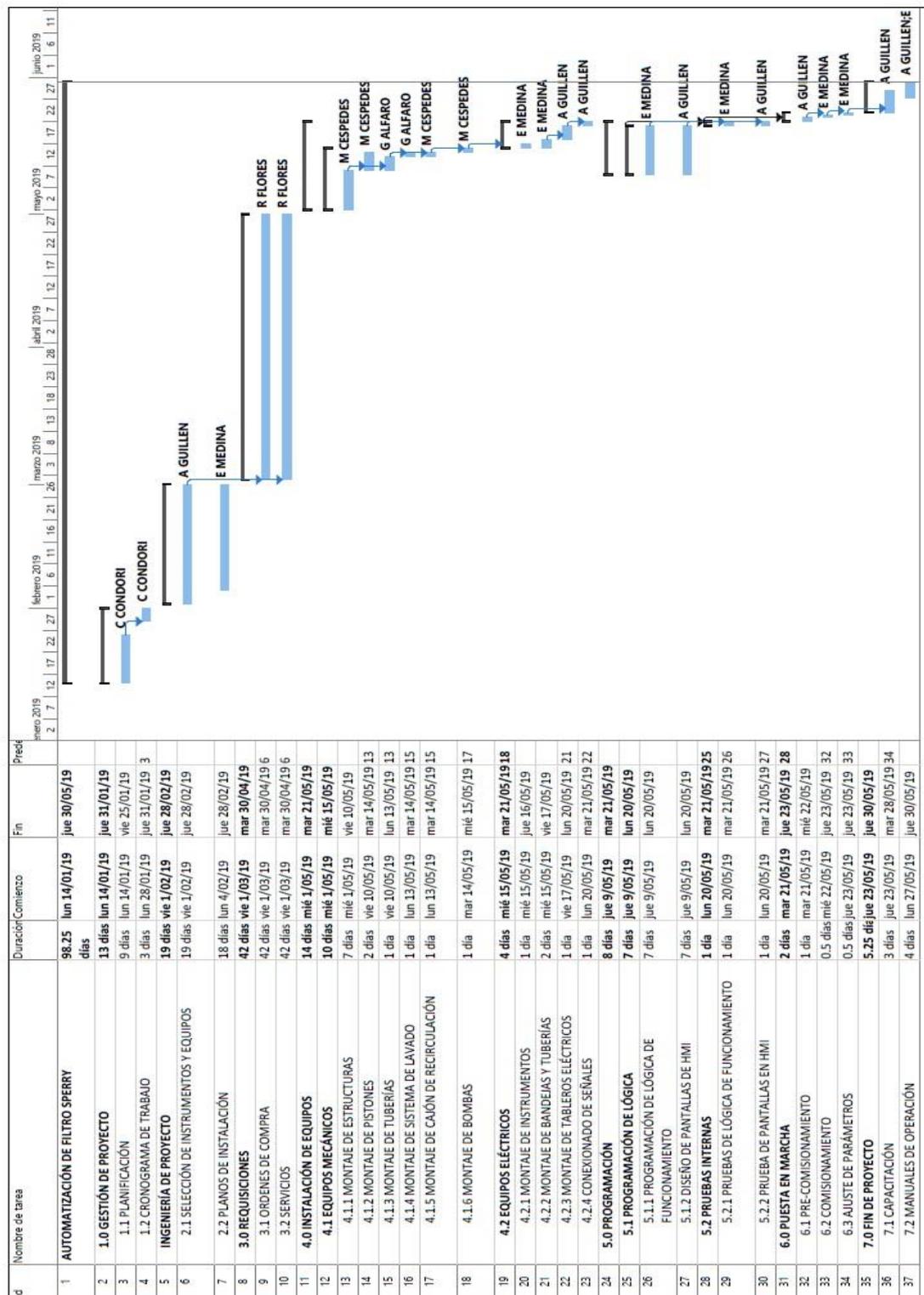
En la siguiente figura se muestra el EDT del proyecto.

Figura 3.6: Estructura de descomposición del trabajo



Elaboración propia

Tabla 3.10: Cronograma del proyecto



Elaboración propia

3.9. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Tabla 3.11: Materiales a usar.

| MATERIALES PARA TABLERO | | | | |
|--------------------------------|--------------|--|------------------|---------------|
| ITEM | CANT. | DESCRIPCION | MARCA | MODELO |
| 1 | 1 | Tablero autosoportado de dos cuerpos | Rittal,ABB | |
| 2 | 1 | 1769-L30ER, CompactLogix 5370 L3 Controllers, 2 MB, DualPort Ethernet DLR, USB | Rockwell | 1769-L30ER |
| 3 | 1 | 1769-PA4, Fuente de Alimentación de expansión Compact I/O | Rockwell | 1769-PA4 |
| 4 | 1 | 1769-ECR, RIGTH END CAP | Rockwell | 1769-ECR |
| 5 | 2 | 1769-IQ32, Módulo de 32 entradas digitales 24 VDC Sink/Source | Rockwell | 1769-IQ32 |
| 6 | 3 | 1769-OW16, Módulo de 16 salidas de relé | Rockwell | 1769-OW16 |
| 7 | 6 | 1769-IF8, Módulo de 8 entradas análogas | Rockwell | 1769-IF8 |
| 8 | 1 | 1769-OF4, Módulo de 4 salidas análogas | Rockwell | 1769-OF4 |
| 9 | 1 | Panel View Plus 1000 Keypad/Touch P-B | Rockwell | 2711P-B10C4D8 |
| 10 | 4 | Relé Inteligente E1 Plus 9-45 A | Rockwell | 193-EEFD |
| 11 | 4 | Módulo de Comunicación para Relé E1 Plus | Rockwell | 193-ETN |
| 13 | 200 | Borneras portafusible de doble piso con indicación para 24 VDC | PHOENIX CONTACT | 3026654 |
| 14 | 200 | Borneras portafusible de doble piso con indicación para 110 VDC/220 VDC | PHOENIX CONTACT | 711629 |
| 15 | 400 | Borneras de 4mm | PHOENIX CONTACT | |
| 16 | 1 | Fuente de alimentación de 24 VDC 5A | PHOENIX CONTACT | 2866310 |
| 17 | 1 | Fuente de alimentación de 24 VDC 2.5A | PHOENIX CONTACT | 2866268 |
| 18 | 1 | Switch ethernet de 8 puertos | PHOENIX CONTACT | 2832771 |
| 19 | 1 | Guardamotor para motor de UH (25hp) | Schneider | GV2P32 |
| 20 | 1 | Contactador con bobina 220 VAC | Schneider | LC1-D32 |
| 21 | 2 | LIFELINE PARADA DE EMERGENCIA | ALLEN BRADLEY | |
| 22 | 1 | UPS 2 KVA | GENERAL ELECTRIC | |
| 23 | 4 | RIEL DIN SIMETRICO | | |
| 24 | 2 | SOBRETENCIONES | SCHNEIDER | A9L16566 |
| 25 | 1 | INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO NSX250 TRIPOLAR | SCHNEIDER | |
| 26 | 2 | INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 3X63 AMP | SCHNEIDER | |
| 27 | 2 | INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 3 X 32 | SCHNEIDER | |
| 28 | 2 | INTERRUPTOR TERMOMAGENETICO 2 X 63 | SCHNEIDER | |
| 29 | 4 | INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 2X16 | SCHNEIDER | |
| 30 | 4 | INTERRUPTOR TERMONAGNETICO 2X6 | SCHNEIDER | |

Elaboración propia

Tabla 3.12: Lista de instrumentos

| MATERIALES PARA INSTRUMENTACIÓN | | | | |
|--|-----------------|---|---------------|---------------------|
| ITEM | CANTIDAD | DESCRIPCION | MARCA | MODELO |
| 1 | 1 | SENSOR DE NIVEL SITRANS PROBE LU, 4-20 mA, 0-6 mts, ULTRASONICO | SIEMENS | SITRANS PROBE LU |
| 2 | 1 | TRANSMISOR DE PRESION 4-20 MA, 30 VDC, 10 BAR , BRIDADO | VEGA | BR64.XXFQ3GH8NAX |
| 3 | 1 | TRANSMISOR DE PRESION 4-20 MA, 30 VDC, 10 BAR , TIPO DIAFRAGMA | DANFOSS | MBS-4510-2011-1CB12 |
| 4 | 4 | SENSOR DE PROXIMIDAD, INDUCTIVO | ALLEY BRADLEY | 871TM-DH15NP30-A2 |
| 5 | 1 | TABLERO ELECTRONEUMATICO CON VALVULAS ELECTRONEUMATICAS | VPC | |
| 6 | 6 | LIMIT SWITCH NEMA OMRON | OMRON | |
| 7 | 6 | ADJUSTABLE ROLLER LEVER OMRON | OMRON | |
| 8 | 1 | PRESOSTATO 320 PSI | ATOS | |
| 9 | 1 | PRESOSTATO 160 PSI | ATOS | |

Elaboración propia

3.9.1. LISTA DE ENTRADAS Y SALIDAS AL PLC

Una vez obtenido el plano P&ID donde se detallaron los instrumentos, sus codificaciones y lazos de control, se procede a realizar una lista de entradas y salidas. Esta lista ayuda en la programación del PLC, debido a que se tiene definido los números de entradas y salidas a ser usados.

Tabla 3.13: Lista de entradas y salidas al PLC

| I/O LIST PLC FILTRO SPERRY | | | | | | | |
|--|--------|---------------------|---------|-------------------|-------|--------------------------|---|
| PLC COMPACT LOGIX, ALLEN BRADLEY, 1769-130ER | | | | | | | |
| IP: 192.168.80.80 | | | | | | | |
| Num | Module | Type | Voltaje | Tag PLC | NO/NC | Scale | Description |
| PLC Compact Logic, Allen Brdaley, 1769-L30ER | | | | | | | |
| Module 01 - 1769-IQ32 - Digital Input 24 VDC | | | | | | | |
| 1 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.0 | | | CONFIRMACIÓN APERTURA 600-HV-001 |
| 2 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.1 | | | CONFIRMACIÓN CERRADO 600-HV-001 |
| 3 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.2 | | | CONFIRMACIÓN APERTURA 600-HV-002 |
| 4 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.3 | | | CONFIRMACIÓN CERRADO 600-HV-002 |
| 5 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.4 | | | CONFIRMACIÓN APERTURA 600-HV-003 |
| 6 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.5 | | | CONFIRMACIÓN CERRADO 600-HV-003 |
| 7 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.6 | | | CONFIRMACIÓN APERTURA 600-HV-004 |
| 8 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.7 | | | CONFIRMACIÓN CERRADO 600-HV-004 |
| 9 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.8 | | | CONFIRMACIÓN APERTURA 600-HV-005 |
| 10 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.9 | | | CONFIRMACIÓN CERRADO 600-HV-005 |
| 11 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.10 | | | CONFIRMACIÓN APERTURA 600-HV-101 |
| 12 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.11 | | | CONFIRMACIÓN CERRADO 600-HV-101 |
| 13 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.12 | | | CONFIRMACIÓN APERTURA 600-HV-103 |
| 14 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.13 | | | CONFIRMACIÓN CERRADO 600-HV-103 |
| 15 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.14 | | | E-STOP UNIDAD HIDRAULICA |
| 16 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.15 | | 1=2080 psi 0=1865 psi | CONFIRMACIÓN FILTRO ABIERTO. SWITCH DE PRESIÓN 600-PSH-1102 |
| 17 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.16 | | 1=3000 psi 0=2550 psi | CONFIRMACIÓN FILTRO CERRADO. SWITCH DE PRESIÓN 600-PSH-1103 |
| 18 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.17 | | | SWITCH PRESIÓN PSH1104. NO SE USA |
| 19 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.18 | | | CONFIRMACIÓN BANDEJA ABIERTA. FIN DE CARRERA 600-ZSO-1109 |
| 20 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.19 | | | CONFIRMACIÓN BANDEJA CERRADA. FIN DE CARRERA 600-ZSC-1110 |
| 21 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.20 | | | |
| 22 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.21 | | | |
| 23 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.22 | | | |
| 24 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.23 | | | |
| 25 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.24 | | | |
| 26 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.25 | | | |
| 27 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.26 | | | |
| 28 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.27 | | | |
| 29 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.28 | | | |
| 30 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.29 | | | |
| 31 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.30 | | | |
| 32 | 1 | 32 x Digital Input | 24 VDC | Local:1:I.Data.31 | | | |
| Module 02 - 1769-IF8 - Analog 8 Chan. Input | | | | | | | |
| 1 | 2 | 8 Analog Input | 4-20 mA | Local:2:I.Ch0Data | | 0-100 % | SENSOR NIVEL 600-LIT-101 |
| 2 | 2 | 8 Analog Input | 4-20 mA | Local:2:I.Ch1Data | | 0-10 bar | SENSOR DE PRESIÓN 600-PIT-003 |
| 3 | 2 | 8 Analog Input | 4-20 mA | Local:2:I.Ch2Data | | 0-150 psi | SENSOR DE PRESIÓN 600-PIT-070 |
| 4 | 2 | 8 Analog Input | 4-20 mA | Local:2:I.Ch3Data | | 1000-2500 Kg/l | DENSÍMETRO 600-DIT-003 |
| 5 | 2 | 8 Analog Input | 4-20 mA | Local:2:I.Ch4Data | | 0-100 % | SENSOR NIVEL 600-LIT-032 |
| 6 | 2 | 8 Analog Input | 4-20 mA | Local:2:I.Ch5Data | | | |
| 7 | 2 | 8 Analog Input | 4-20 mA | Local:2:I.Ch6Data | | | |
| 8 | 2 | 8 Analog Input | 4-20 mA | Local:2:I.Ch7Data | | | |
| Module 03 - 1769-OV16- Digital Output - 24 VDC Sinking | | | | | | | |
| 1 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.0 | | | COMANDO APERTURA VALVULA 600-HV-001 |
| 2 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.1 | | | COMANDO APERTURA VALVULA 600-HV-002 |
| 3 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.2 | | | COMANDO APERTURA VALVULA 600-HV-003 |
| 4 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.3 | | | COMANDO APERTURA VALVULA 600-HV-004 |
| 5 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.4 | | | COMANDO APERTURA VALVULA 600-HV-005 |
| 6 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.5 | | | COMANDO APERTURA VALVULA 600-HV-101 |
| 7 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.6 | | | COMANDO APERTURA VALVULA 600-HV-102 |
| 8 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.7 | | | COMANDO APERTURA VALVULA 600-HV-103 |
| 9 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.8 | | | COMANDO APERTURA VALVULA 600-HV-200 |
| 10 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.9 | | | |
| 11 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.10 | | | |
| 12 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.11 | | | |
| 13 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.12 | | | |
| 14 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.13 | | | |
| 15 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.14 | | | |
| 16 | 3 | 16 x Digital Output | 24 VDC | Local:3:O.Data.15 | | | |
| Module 04 - 1769-OW16- Digital Output 16 - 120/220 VAC | | | | | | | |
| 1 | 4 | 16 x Relay Output | 110 VAC | Local:4:O.Data.0 | | | COMANDO CERRAR FILTRO. ELECTROVALVULA 600-SV-0201 |
| 2 | 4 | 16 x Relay Output | 110 VAC | Local:4:O.Data.1 | | | COMANDO ABRIR FILTRO. ELECTROVALVULA 600-SV-0202 |
| 3 | 4 | 16 x Relay Output | 110 VAC | Local:4:O.Data.2 | | | COMANDO . ELECTROVALVULA 600-SV-0203 |
| 4 | 4 | 16 x Relay Output | 110 VAC | Local:4:O.Data.3 | | | COMANDO . ELECTROVALVULA 600-SV-0204 |
| 5 | 4 | 16 x Relay Output | 110 VAC | Local:4:O.Data.4 | | | COMANDO ABRIR BANDEJA. ELECTROVALVULA 600-SV-0205 |
| 6 | 4 | 16 x Relay Output | 110 VAC | Local:4:O.Data.5 | | | COMANDO CERRAR BANDEJA. ELECTROVALVULA 600-SV-0206 |
| 7 | 4 | 16 x Relay Output | 110 VAC | Local:4:O.Data.6 | | | |
| 8 | 4 | 16 x Relay Output | 110 VAC | Local:4:O.Data.7 | | | |
| 9 | 4 | 16 x Relay Output | 220 VAC | Local:4:O.Data.8 | | | COMANDO ARRANQUE BOMBA UNIDAD HIDRAULICA 600-PP-003 |
| 10 | 4 | 16 x Relay Output | 220 VAC | Local:4:O.Data.9 | | | COMANDO ARRANQUE BOMBA 600-PP-024 |
| 11 | 4 | 16 x Relay Output | 220 VAC | Local:4:O.Data.10 | | | COMANDO ARRANQUE AGITADOR HOLDING TANK 600-AG-006 |
| 12 | 4 | 16 x Relay Output | 220 VAC | Local:4:O.Data.11 | | | COMANDO ARRANQUE BOMBA 600-PP-031 |
| 13 | 4 | 16 x Relay Output | 220 VAC | Local:4:O.Data.12 | | | COMANDO ARRANQUE BOMBA 600-PP-032 |
| 14 | 4 | 16 x Relay Output | 220 VAC | Local:4:O.Data.13 | | | |
| 15 | 4 | 16 x Relay Output | 220 VAC | Local:4:O.Data.14 | | | |
| 16 | 4 | 16 x Relay Output | 220 VAC | Local:4:O.Data.15 | | | |

Elaboración propia

Tabla 3.14: Costos de materiales para el proyecto.

| Ítem | Descripción | Precio Total USD |
|------|---|---------------------|
| 1 | INGENIERÍA DETALLE | USD 12,000 |
| | INGENIERÍA ELÉCTRICA | USD 5,000 |
| | INGENIERÍA DE AUTOMATIZACIÓN | USD 7,000 |
| 2 | MATERIALES MECÁNICOS | USD 63,056 |
| | BOMBA 600-PP-031 (BOMBA DE LAVADO DE LONAS) | USD 5,096 |
| | BOMBA 600-PP-032 (BOMBA DE RECIRCULACIÓN) | USD 7,840 |
| | UNIDAD HIDRÁULICA 600-HP-003 | USD 19,600 |
| | PISTONES DE APERTURA/CIERRE DE PLACAS | USD 15,120 |
| | SISTEMA DE LAVADO DE LONAS | USD 9,240 |
| | CAJÓN DE RECUPERACIÓN | USD 6,160 |
| 4 | INSTRUMENTACIÓN / ACTUADORES (CAMPO) | USD 9,016 |
| | INSTRUMENTACIÓN (CAMPO) | USD 8,120 |
| | ACTUADORES (CAMPO) | USD 896 |
| 3 | TABLEROS ELÉCTRICOS: FUERZA Y CONTROL | USD 7,834 |
| | TABLERO ELÉCTRICO | USD 252 |
| | ARRANCADORES ELECTRICOS | USD 302 |
| | VARIADOR DE FRECUENCIA | USD 7,280 |
| 5 | AUTOMATIZACIÓN (Hardware / Software) | USD 16,240 |
| | HARDWARE DE CONTROL | USD 16,240 |
| 6 | INFRAESTRUCTURA (Cables/bandejas/tuberías/sopotería) | USD 1,584 |
| | CABLES | USD 1,260 |
| | CANALETAS | USD 6 |
| | TUBERÍAS CONDUIT | USD 90 |
| | SOPOTERÍA | USD 34 |
| | TUBERÍAS PARA LAVADO DE LONAS | USD 89 |
| | TUBERÍAS PARA RECIRCULACIÓN | USD 107 |
| 7 | SERVICIOS | USD 11,760 |
| | INSTALACIÓN DE PISTONES | USD 6,160 |
| | INSTALACIÓN DE SISTEMA DE LAVADO DE LONAS | USD 5,600 |
| | | USD 121,491 |

Elaboración propia

3.10. DEFINICIÓN DEL CAPEX Y OPEX DEL PROYECTO

3.10.1. CAPEX DEL PROYECTO

El CAPEX del proyecto vendría a representar la inversión que se realizara para la implementación del proyecto de automatización el cual se representa en la siguiente tabla.

Tabla 3.15: CAPEX del proyecto

| Item | Descripción | UN | Precio Unitario | Precio Total | Precio Total USD |
|------|---|----|------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | INGENIERÍA DETALLE | | S/. | 42,000.00 | USD 12,000 |
| 2 | MATERIALES MECÁNICOS | | S/. | 225,200.00 | USD 63,056 |
| 4 | INSTRUMENTACIÓN / ACTUADORES (CAMPO) | | S/. | 32,200.00 | USD 9,016 |
| 3 | TABLEROS ELÉCTRICOS: FUERZA Y CONTROL | | S/. | 27,980.00 | USD 7,834 |
| 5 | AUTOMATIZACIÓN (Hardware / Software) | | S/. | 58,000.00 | USD 16,240 |
| 6 | INFRAESTRUCTURA (Cables/bandejas/tuberías/soportería) | | S/. | 5,658.50 | USD 1,584 |
| 7 | SERVICIOS | | S/. | 42,000.00 | USD 11,760 |
| | | | TOTAL S/. | 433,038.50 | USD 121,491 |

Elaboración propia

3.10.2. OPEX DEL PROYECTO

El OPEX viene a representar los gastos operativos para que el proyecto funcione durante los años luego de su implementación los cuales se representan en la siguiente tabla.

Tabla 3.16: OPEX del proyecto

| Item | Descripción | Precio Total USD |
|--------------|------------------------------------|-------------------|
| 1 | Costo de Mano de Obra Directa | USD 14,980 |
| 2 | Costo de Materiales tela filtrante | USD 7,164 |
| 3 | Costo de mantenimiento electrico | USD 2,464 |
| 4 | Costo de mantenimiento mecanico | USD 4,711 |
| TOTAL | | USD 29,318 |

Elaboración propia

3.11. PROGRAMACIÓN DE PLC

Para la programación de PLC se sigue la siguiente filosofía de control.

Etapa 1: Cerrado de Filtro

En esta etapa deberá verificar que la bandeja esté cerrada en caso de no estarlo deberá realizarlo. Luego deberá activar la bomba de la unidad hidráulica, una vez confirmado el arranque de ésta se deberá activar la válvula 600-SV-201 mediante la cual se procederá a cerrar el filtro. Se mantiene activada hasta que el presostato 600-PSH-1103 supere los 3000 psi, deberá mantener esta condición en todas las etapas de: cerrado, alimentación y secado.

Etapa 2: Alimentación

Una vez confirmado el cierre del Filtro, se verifica que el Holding Tank 600-TK-006 tenga un nivel deseado para poder dar inicio a la alimentación, si no se tiene el nivel no se llenará por completo el filtro. Posteriormente se deberán abrir las válvulas 600-HV-002, 600-HV-003, 600-HV-004, 600-HV-005 y 600-HV-103, una vez se tengan las confirmaciones de todas estas válvulas se deberá iniciar la alimentación encendiendo la bomba 600-PP-030 deberá arrancar con una velocidad configurable desde el HMI, deberá mantener la velocidad que el operador configure o hasta que se llegue a una presión de 5 bar.

Etapa 3: Secado

Para esta etapa se deberá abrir primero las válvulas 600-HV-002 y 600-HV-002 una vez que se tenga la confirmación de estas válvulas se deberá abrir la válvula 600-HV-001. Se deberá tener un control del tiempo para el apagado automático de esta etapa

Etapa 4: Apertura de Filtro

En esta etapa deberá activar la bomba de la unidad hidráulica, una vez confirmado el arranque se deberá activar la válvula 600-SV-202 mediante la cual se procederá a abrir el filtro. Se mantiene activada hasta que se active el presostato 600-PSH-1102.

Etapa 5: Descarga

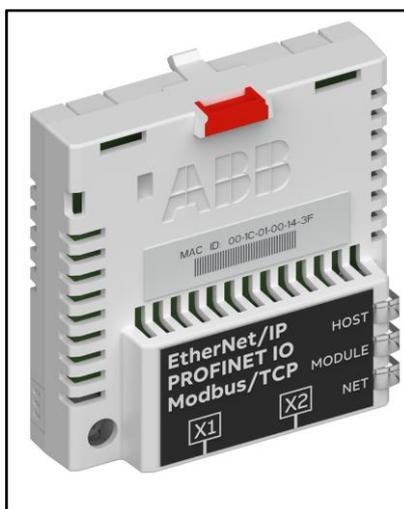
En esta etapa deberá activar la bomba de la unidad hidráulica, confirmado el arranque deberá activar la válvula 600-SV-205 hasta que se confirme la apertura de la bandeja.

3.13. IMPLEMENTACIÓN DE RED INDUSTRIAL ETHERNET/IP

3.13.1. COMUNICACIÓN CON VARIADOR ACS 880 ABB

Para lograr la comunicación mediante Ethernet/IP se instaló la tarjeta de comunicación FENA-11 ABB.

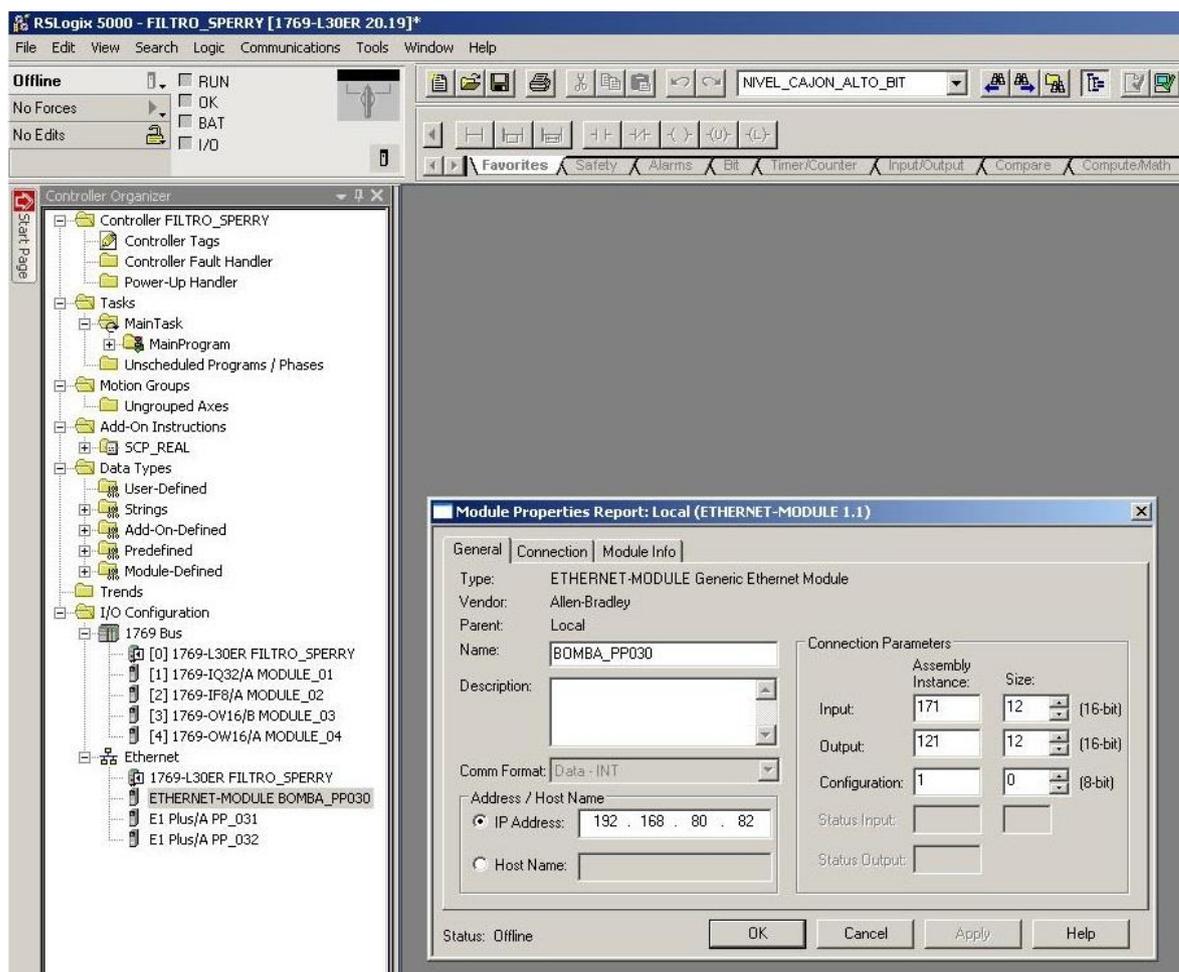
Figura 3.8: Tarjeta de comunicación FENA-11 ABB



Fuente: (ABB, 2018)

Para realizar la configuración, se sigue la Guía Básica de Comunicación ODVA. Las instancias que se utilizaron fueron la 121 y 171, estas instancias se configuran en el módulo genérico, mediante el uso del programa RSLogix 5000; como se aprecia en la siguiente imagen.

Figura 3.9: Entorno gráfico de programación RSLogix 5000.



Elaboración propia

A continuación, la tabla de parámetros a configurar en el variador de Velocidad ACS880 ABB.

Tabla 3.17: Parámetros a configurar en el variador.

| NOMBRE DE PARÁMETRO | ACS880 | DESCRIPCIÓN |
|----------------------------------|----------------------|--|
| 19.01 Modo Operación Actual | Escalar (rpm) | Control de velocidad en el modo de control escalar del motor. |
| 19.11 Ext1/Ext2 Selección | DI3 | La entrada digital 3 selecciona entre EXT1 y EXT2 (0 = EXT1 1 = EXT2) |
| 20.01 Ext1 Marcha/Paro/Dir | In1 Marcha | Fuente de señal externa 1 que se activa con IN1 |
| 20.02 Ext1 MarFlanco/Nivel | Flanco (0) | La señal de arranque se dispara por flanco. |
| 20.03 Ext1 in1 | DI1 | Con ED1 se habilita la marcha y paro ED1=0 (paro) ED1=1 (arranque) control Externo 1 |
| 20.04 Ext1 in2 | Desactivado | La fuente 2 esta desactivada |
| 20.05 Ext1 in3 | Desactivado | La fuente 3 esta desactivada |
| 20.06 Ext2 Marcha/Paro/Dir | Bus de campo A | Fuente de señal externa 2 Las órdenes de marcha y paro se toman del adaptador de bus de campo A. |
| 20.07 Ext2 MarFlanco/Nivel | Flanco (0) | La señal de arranque se dispara por flanco. |
| 20.12 Permiso de Marcha | Activo | Selecciona la fuente de la señal de permiso de marcha Externa. DIIL |
| 22.11 Selección ref. velocidad 1 | AI1 | Selecciona la fuente para la referencia de velocidad 1 entrada analógica 1 |
| 22.12 Selección ref. velocidad 2 | FB A ref1 | Adaptador de bus de campo A, referencia 1. |
| 50.01 Habilitación FBA | Habilitado | Comunicación entre el convertidor y el adaptador de bus de campo habilitada. |
| 50.02 Func Fallo Comun | Ultima Vel | Al haber un fallo de comunicación el variador de coloca en la última velocidad |
| 50.04 Escala Ref1 FBA | Velocidad | |
| 50.05 Escala Ref2 FBA | Velocidad | |
| 51.01 FBA tipo | Ethernet 128 FENA-11 | Muestra el tipo de módulo adaptador de bus de campo conectado. 128 FENA-11 |
| 51.02 PROTOCOL/PROFILE | 100 ODVA AC/DC DRIVE | |
| 51.03 COMM RATE | 0 Auto-Negotiate | |
| 51.04 IP CONFIGURATION | (0) Static IP | IP estático |
| 51.05 IP address 1 | 192 | |
| 51.06 IP address2 | 168 | |
| 51.07 IP address 3 | 80 | |
| 51.08 IP address 4 | XX | |
| 51.09 Subnet mask 2 | 24 | |
| 51.10 GW address 1 | 192 | |
| 51.11 GW address 1 | 168 | |
| 51.12 GW address 1 | 80 | |
| 51.13 GW address 1 | 1 | |
| 51.20 CONTROL TIMEOUT | 0 | |
| 51.21 EDLE ACTION | 0 | |

| 52.01 Input 1 | 107 | Intensidad del motor medida. 10=1A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------------|--|-----|--------|---|-----------------|---|------------------|---|------------------|---|-----------------|---|----------|---|--------------|---|--------|---|--------------|---|--------|---|-----------------|----|-----------------|----|--------------|----|--------------|----|-----------------|----|----------------|----|------------------|
| 52.02 Input 2 | 10.01 | Estado de las entradas digitales del DI6-DI1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 52.03 Input 3 | 04.01 | <p>08.05 Regist alarma 1 Registro de alarma 1. Acerca de las posibles causas y soluciones, véase el capítulo <i>Análisis de fallos</i>, página 291. Puede restaurarse si se introduce el valor 0.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Bit</th> <th>Nombre</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>Par apert Freno</td></tr> <tr><td>1</td><td>Freno no Cerrado</td></tr> <tr><td>2</td><td>Freno no Abierto</td></tr> <tr><td>3</td><td>Safe torque Off</td></tr> <tr><td>4</td><td>STO Modo</td></tr> <tr><td>5</td><td>Temp Motor 1</td></tr> <tr><td>6</td><td>Em Off</td></tr> <tr><td>7</td><td>Habil Marcha</td></tr> <tr><td>8</td><td>Id Run</td></tr> <tr><td>9</td><td>Paro Emergencia</td></tr> <tr><td>10</td><td>Escala Posicion</td></tr> <tr><td>11</td><td>Temp R.Freno</td></tr> <tr><td>12</td><td>Temp Chopper</td></tr> <tr><td>13</td><td>Sobretemp Drive</td></tr> <tr><td>14</td><td>Temp Circ. Int</td></tr> <tr><td>15</td><td>Temp mod Chopper</td></tr> </tbody> </table> | Bit | Nombre | 0 | Par apert Freno | 1 | Freno no Cerrado | 2 | Freno no Abierto | 3 | Safe torque Off | 4 | STO Modo | 5 | Temp Motor 1 | 6 | Em Off | 7 | Habil Marcha | 8 | Id Run | 9 | Paro Emergencia | 10 | Escala Posicion | 11 | Temp R.Freno | 12 | Temp Chopper | 13 | Sobretemp Drive | 14 | Temp Circ. Int | 15 | Temp mod Chopper |
| Bit | Nombre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | Par apert Freno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Freno no Cerrado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Freno no Abierto | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Safe torque Off | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | STO Modo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Temp Motor 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Em Off | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Habil Marcha | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Id Run | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Paro Emergencia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Escala Posicion | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | Temp R.Freno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | Temp Chopper | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | Sobretemp Drive | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | Temp Circ. Int | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | Temp mod Chopper | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 52.04 Input4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 51.19 Output 1 | 2212 | VELOCIDAD CONSTANTE1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 51.20 Output 2 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 51.21 Output 3 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 51.22 Output 4 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 51.27 FBA PAR REFRESH | (1) REFRESH | ACTUALIZA PARAMETROS CAMBIADOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Elaboración propia

Se usó parametrización de la instancia de entrada 171, usando el perfil ODVA AC/DC profile.

Tabla 3.18: Parametrización de la instancia de entrada 171.

| Instance 171 (ODVA AC/DC profile) | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|--------------|---------------|-------|-----------------|-----------------|----------|---------|
| Byte | Bit 7 | Bit 6 | Bit 5 | Bit 4 | Bit 3 | Bit 2 | Bit 1 | Bit 0 |
| 0 | At Reference | Ref From Net | Ctrl From Net | Ready | Run-ning2 (Rev) | Run-ning1 (Fwd) | Warn-ing | Faulted |
| 1 | Drive State See section <i>State (Control supervisor object)</i> on page 179. | | | | | | | |
| 2 | Speed Actual (Low Byte) | | | | | | | |
| 3 | Speed Actual (High Byte) | | | | | | | |
| 4 | DATA IN 1 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 5 | DATA IN 1 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 6 | DATA IN 2 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 7 | DATA IN 2 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 8 | DATA IN 3 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 9 | DATA IN 3 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 10 | DATA IN 4 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 11 | DATA IN 4 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 12 | DATA IN 5 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 13 | DATA IN 5 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 14 | DATA IN 6 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 15 | DATA IN 6 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 16 | DATA IN 7 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 17 | DATA IN 7 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 18 | DATA IN 8 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 19 | DATA IN 8 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 20 | DATA IN 9 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 21 | DATA IN 9 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 22 | DATA IN 10 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 23 | DATA IN 10 Value (High Byte) | | | | | | | |

Fuente: (ABB, 2018)

Para la salida se usó la instancia 121 del mismo perfil de comunicación.

Tabla 3.19: Parametrización de la instancia de entrada 121.

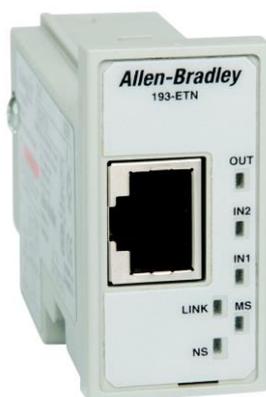
| Instance 121 (ODVA AC/DC profile) | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|---------|----------|-------|-------|-------------|---------|---------|
| Byte | Bit 7 | Bit 6 | Bit 5 | Bit 4 | Bit 3 | Bit 2 | Bit 1 | Bit 0 |
| 0 | | Net Ref | Net Ctrl | | | Fault Reset | Run Rev | Run Fwd |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | Speed Reference (Low Byte) | | | | | | | |
| 3 | Speed Reference (High Byte) | | | | | | | |
| 4 | DATA OUT 1 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 5 | DATA OUT 1 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 6 | DATA OUT 2 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 7 | DATA OUT 2 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 8 | DATA OUT 3 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 9 | DATA OUT 3 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 10 | DATA OUT 4 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 11 | DATA OUT 4 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 12 | DATA OUT 5 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 13 | DATA OUT 5 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 14 | DATA OUT 6 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 15 | DATA OUT 6 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 16 | DATA OUT 7 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 17 | DATA OUT 7 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 18 | DATA OUT 8 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 19 | DATA OUT 8 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 20 | DATA OUT 9 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 21 | DATA OUT 9 Value (High Byte) | | | | | | | |
| 22 | DATA OUT 10 Value (Low Byte) | | | | | | | |
| 23 | DATA OUT 10 Value (High Byte) | | | | | | | |

Fuente: (ABB, 2018)

3.13.2. COMUNICACIÓN CON RELÉ E1 PLUS

Se uso la tarjeta de comunicación 193 ETN Allen Bradley

Figura 3.10: Tarjeta de comunicación 193 ETN Allen Bradley.



Fuente: (Allen-Bradley, 2019)

Se uso su archivo EDS, que se descargó de la página web:

<https://compatibility.rockwellautomation.com/pages/search.aspx?crumb=117&q=193-ETN>

Se sigue la guía de instalación del EDS, como muestran las siguientes figuras siguientes.

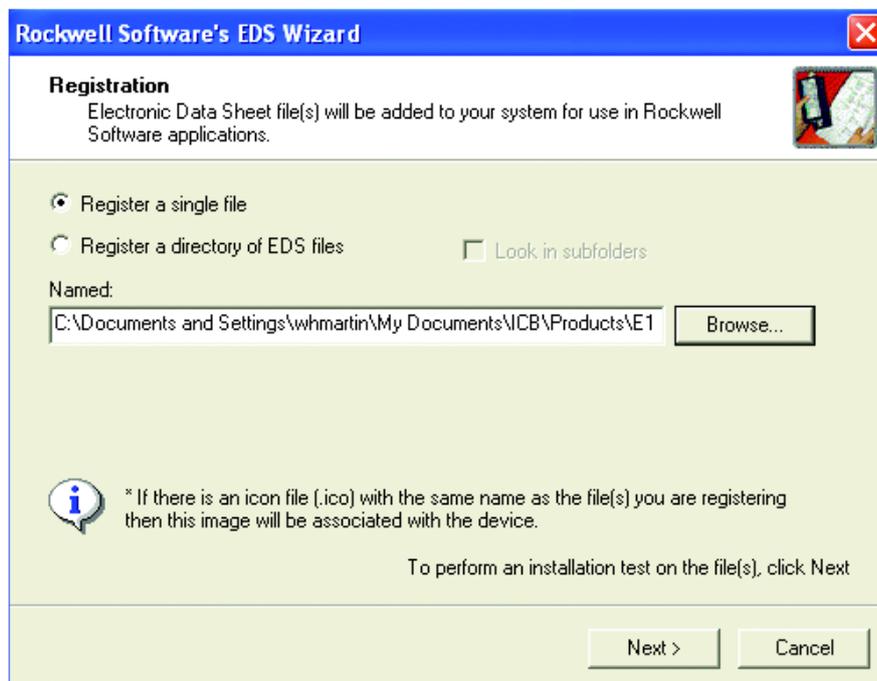
Figura 3.11: EDS hardware Installation Tool.



Elaboración propia

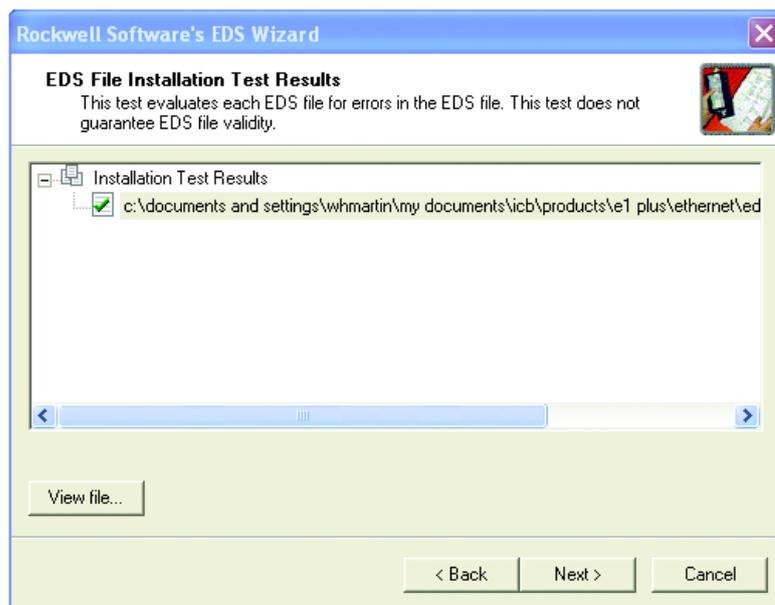
Se registra el EDS

Figura 3.12: Registro del producto Rockwell Software EDS.



Elaboración propia

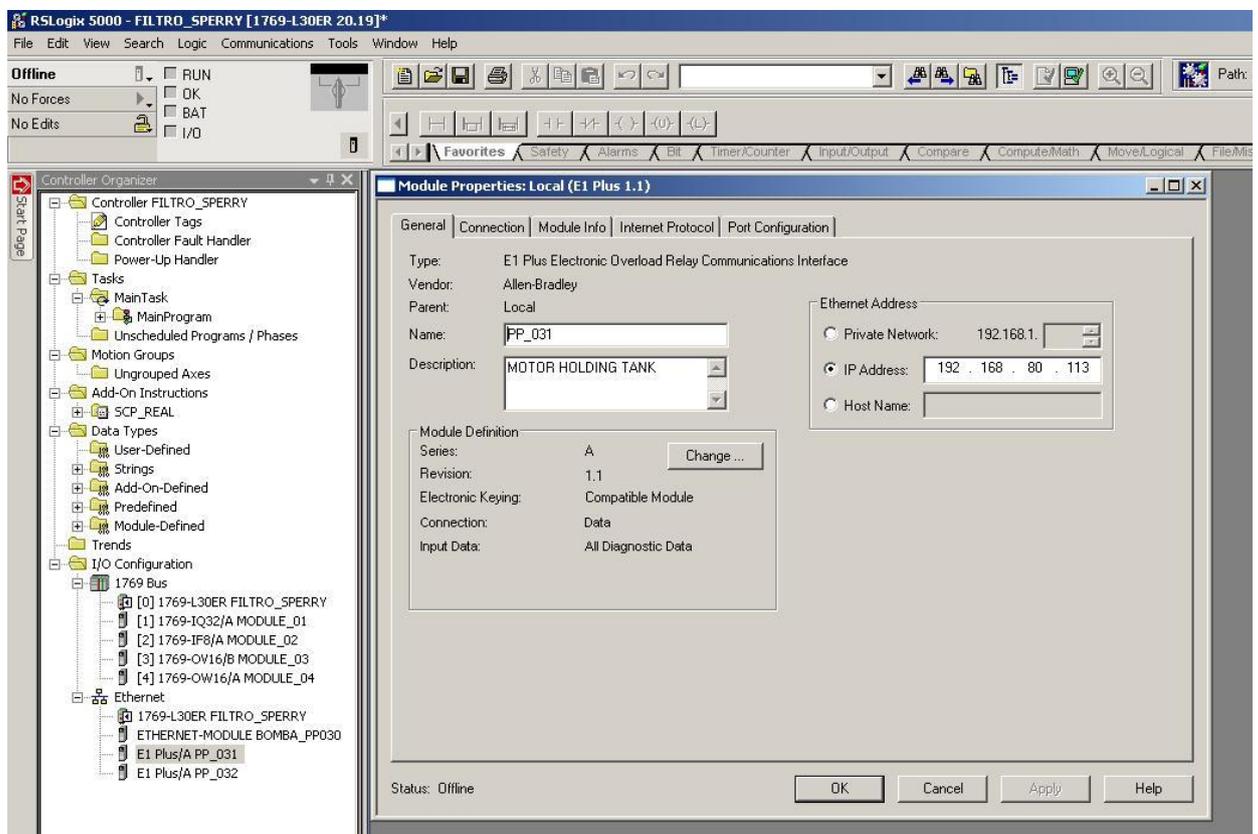
Figura 3.13: Wizard de Rockwell Software EDS.



Elaboración propia

Una vez instalado el EDS, se procede a añadirlo a la red Ethernet/IP.

Figura 3.14: Software de programación de RSLogix 5000.



Elaboración propia

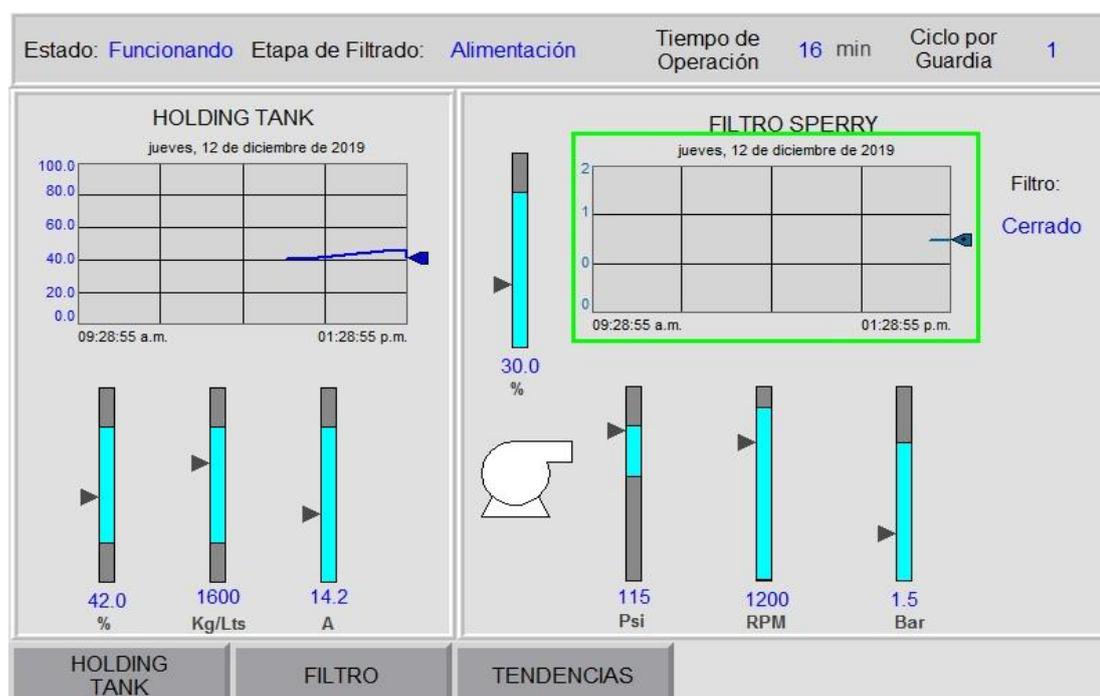
3.13.3. PROCESO DE DISEÑO DE HPHMI

Para este proceso se siguió las jerarquías de acuerdo al estándar ISA 101, en la figura siguiente se muestra el nivel 1, donde se considera el Overview del proceso, en esta pantalla se consideró los siguiente:

- Modos de operación.
- Estado del equipo.
- Valores actuales de las señales de control.
- Tendencias del proceso.
- Alarmas con prioridades.

Con esta pantalla el operador se puede conocer el estado del proceso a primera vista, si hubiese alguna alarma esta se mostraría con una prioridad y el operador podría atender la alarma según la prioridad.

Figura 3.15: Pantalla de nivel 1.



En la siguiente imagen, corresponde al nivel de jerarquía 2. En esta pantalla contiene más detalle del proceso y un mayor detalle de los equipos, luego de la pantalla Overview, es la siguiente más usada por el operador. Aquí están los controles de las etapas del proceso con la cual el operador interactúa diariamente.

Tienen los controles para el seteo del tiempo de secado, velocidad de la bomba de alimentación y la visualización del nivel de holding tank, presión de alimentación y presión de aire para secado.

Figura 3.16: Pantalla nivel 2.



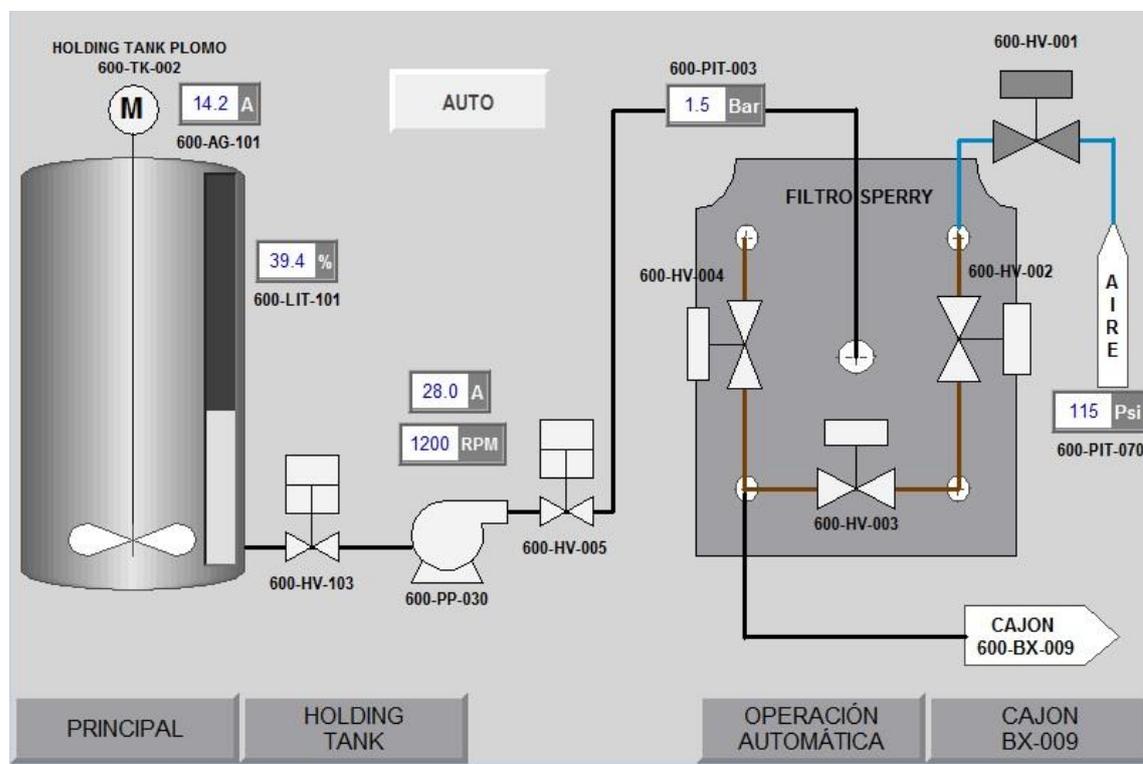
Elaboración propia

En la siguiente imagen, corresponde al nivel de jerarquía 3. En esta pantalla el operador puede visualizar el comportamiento de los equipos e instrumentos que actúan en las diferentes etapas del proceso.

Contiene botones de acceso directo a los procesos de llenado de holding tank, modos de operación del filtro (manual automático) y cajón 600-BX-009.

Tiene un botón para el control de nivel del cajón 600-BX-009, en el cual está el modo de operación de la bomba 600-PP-032, bomba destinada a la recuperación de concentrado de plomo en lavado de lonas.

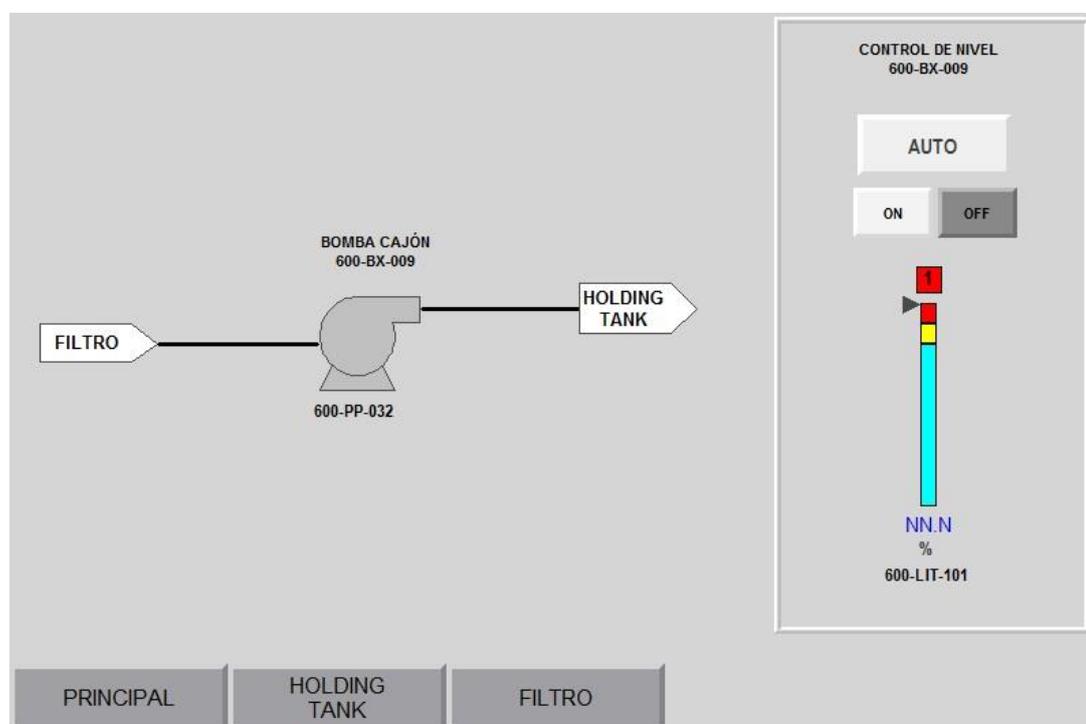
Figura 3.17: Pantalla de nivel 3.



Elaboración propia

En la siguiente imagen se muestra el nivel de jerarquía 4 correspondiente al control de la bomba de recuperación de concentrado 600-PP-032, pantalla en la que se puede visualizar los botones de control en el modo automático y en el modo manual.

Figura 3.18: Pantalla de nivel 4.



Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RECUPERADO DE RESIDUOS DE CONCENTRADO DE PLOMO

Por los datos recopilados en las etapas de entrevistas se implementó un sistema de recuperación de residuos de concentrado de plomo, que resultaban de la limpieza de lonas y bandejas, esto se dirigía a la poza de recuperación. Con la implementación del proyecto se logró disminuir la cantidad concentrado recuperado en la poza de recuperación, el resultado obtenido se muestra en la siguiente tabla.

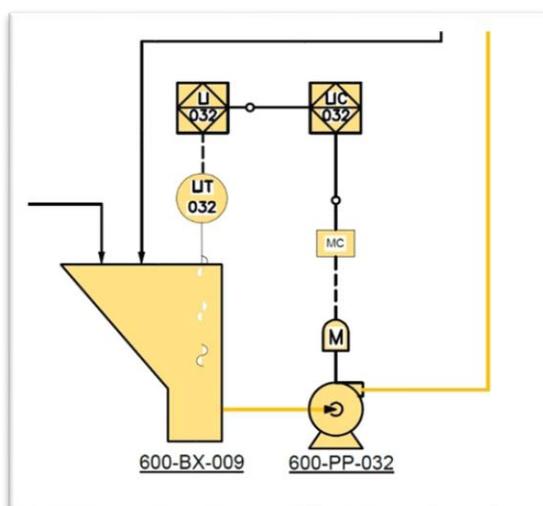
Tabla 4.1: Registro Peso Limpieza Cocha.

| Registro Peso Limpieza Cocha de Pb | |
|------------------------------------|----------|
| Fecha | Peso= Tn |
| 29/11/2018 | 16.52 |
| 30/12/2018 | 14.86 |
| 28/01/2019 | 18.23 |
| 27/02/2019 | 13.54 |
| 25/03/2019 | 11.27 |
| 26/04/2019 | 16.92 |
| 24/05/2019 | 15.83 |
| 26/06/2019 | 11.06 |
| 30/07/2019 | 2.5 |
| 27/08/2019 | 1.84 |
| 28/09/2019 | 2.4 |
| 28/10/2019 | 2.67 |
| 29/11/2019 | 1.75 |

Elaboración propia

Esto se logra gracias a la implementación de un sistema de recirculación propuesto en el diagrama P&ID elabora para el proceso de filtrado de plomo.

Figura 4.1: Diagrama P&ID para el proceso de filtrado de plomo.



Elaboración propia

La realización del diagrama contribuyó a la selección a la identificación del lazo de control 600-LIC-032. La codificación sugerida en la Norma ISA 5.1 ayuda en la codificación de instrumentos y equipos instalados en planta y a su vez a una identificación en la lógica de programa.

Antes del proyecto no se tenía planos de instrumentación y los equipos eran nombrados solo con una codificación numérica por ejem. Bomba 20.

Otro resultado producto de la implementación fue que las horas hombre empleadas en el proceso de limpieza de la poza de recuperación disminuyó considerablemente de 40 a 10, debido a que ya no se tiene mucha acumulación de residuos de concentrado de plomo.

Tabla 4.2: Horas/ Hombre Limpieza de Poza de Recuperación.

| Horas/ Recuperación | Hombre Limpieza de Poza de | |
|------------------------|----------------------------|---------|
| | Antes | Después |
| # Trabajadores | 5 | 5 |
| Tiempo invertido | 8 | 2 |
| Horas/Hombre | 40 | 10 |

Elaboración propia

4.2. REDUCCIÓN DE TIEMPO DE FILTRADO POR CICLO

Para el logro de este objetivo se implementó un control de tiempo a ser parametrizado desde un HMI de alto rendimiento. Esto se logró gracias a la migración del controlador principal del filtro a uno actual que permitió el desarrollo de una red de comunicación Ethernet/IP. Dentro de lo solicitado por los stakeholder se requería integrar también el proceso de llenado del Holding Tank. Por lo cual se redujo el número de tableros que tenía que controlar el operador a uno solo.

Figura 4.2: Comparación de antes y después.



Elaboración propia

Al implementar el control del tiempo en el PLC y parametrizarlos desde el HMI los operadores colocan el tiempo de secado que requieren y al termino se apaga automáticamente. Con esto se logra bajar el tiempo en la etapa de secado, que era la etapa que más tiempo tomaba.

Antes se tenía un tiempo promedio de 111 min ahora se tiene un tiempo de 60 min.

Tabla 4.3: Concentrado de Ciclo Filtro Sperry antes de la automatización.

| Cronometrado de Ciclo Filtro Sperry Tiempo promedio por día | | |
|--|------------|------------------|
| | Fecha | Tiempo t= min |
| 1 | 12/11/2018 | 99 |
| 2 | 13/11/2018 | 121 |
| 3 | 14/11/2018 | 115 |
| 4 | 15/11/2018 | 97 |
| 5 | 16/11/2018 | 106 |
| 6 | 17/11/2018 | 125 |
| 7 | 18/11/2018 | 132 |
| 8 | 19/11/2018 | 96 |
| 9 | 20/11/2018 | 120 |
| 10 | 21/11/2018 | 94 |
| Tiempo promedio | | 111 |

Elaboración propia

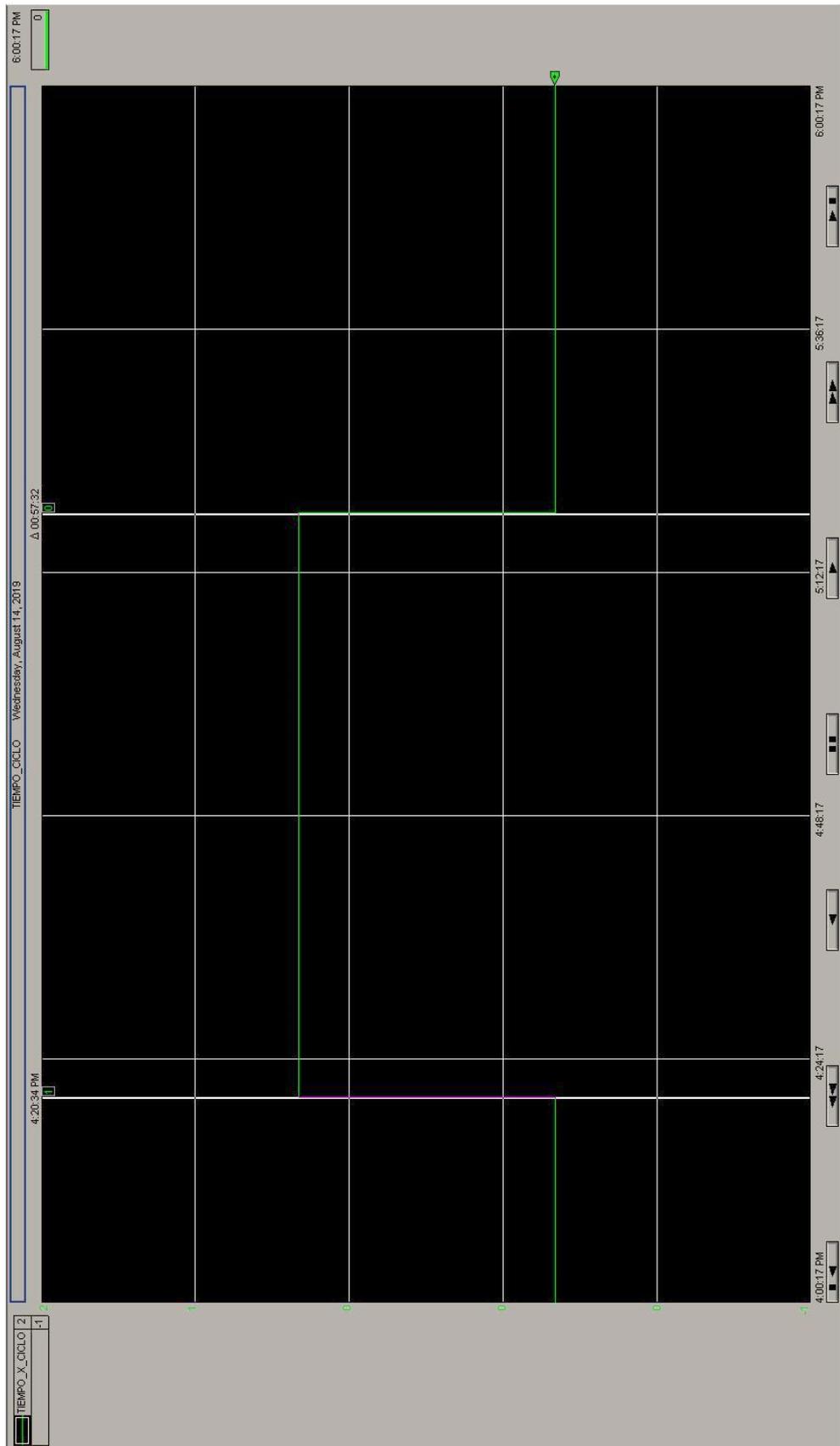
Tabla 4.4: Concentrado de Ciclo Filtro Sperry después de la automatización.

| Cronometrado de Ciclo Filtro Sperry Tiempo promedio por día | | |
|--|------------|------------------|
| | Fecha | Tiempo t= min |
| 1 | 12/11/2018 | 68 |
| 2 | 13/11/2018 | 90 |
| 3 | 14/11/2018 | 68 |
| 4 | 15/11/2018 | 61 |
| 5 | 16/11/2018 | 82 |
| 6 | 17/11/2018 | 77 |
| 7 | 18/11/2018 | 85 |
| 8 | 19/11/2018 | 62 |
| 9 | 20/11/2018 | 69 |
| 10 | 21/11/2018 | 61 |
| Tiempo promedio | | 72.3 |

Elaboración propia

A continuación, se muestra una tendencia del tiempo actual que demora un ciclo.

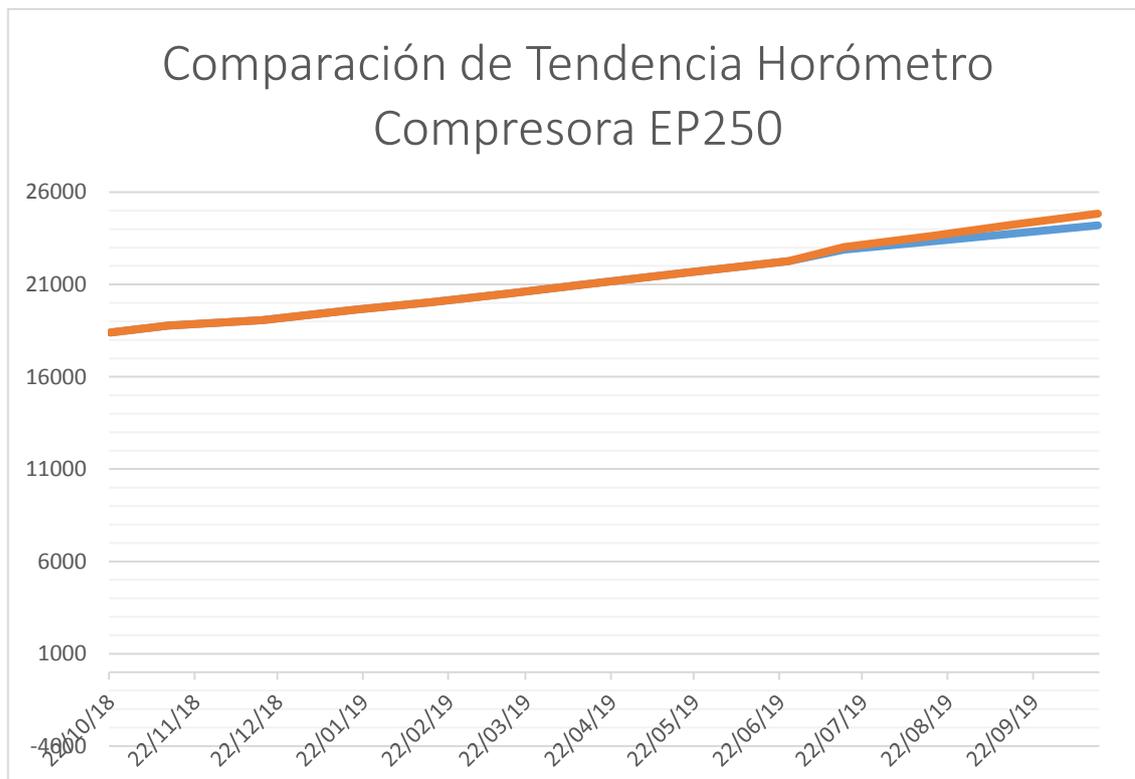
Figura 4.3: Tendencia de tiempo actual de ciclo.



Elaboración propia

Al reducir la etapa de secado, se redujo las horas de operación de la compresora.

Figura 4.4: Comparación de Tendencia Horómetro Compresora.



Elaboración propia

4.2.1. OEE EFECTIVIDAD GLOBAL DEL EQUIPO

Para hallar la efectividad global del filtro, es necesario hallar primero el rendimiento, a continuación, la tabla muestra cómo se calcula el rendimiento antes de aplicar la automatización.

Tabla 4.5: Cálculo del rendimiento sin automatización.

| |
|--|
| Capacidad de producción en toneladas (CP) |
| 12 |
| Toneladas producidas por ciclo |
| 12 |
| 11.8 |
| 11.9 |
| 11.9 |
| 12 |
| 11.8 |
| Promedio de toneladas producidas por ciclo (PTPC) |
| 11.9 |
| Rendimiento $R=PTPC/CP$ |
| 99% |

Elaboración propia

También es importante hallar la disponibilidad, a continuación, la tabla muestra cómo se calcula la disponibilidad antes de aplicar la automatización.

Tabla 4.6: Cálculo de la disponibilidad sin automatización.

| |
|--|
| Tiempo disponible (TD) |
| 365 |
| Tiempo productivo (TP) |
| 350 |
| Disponibilidad $D=TP/TD$ |
| 96% |

Elaboración propia

Otro factor importante es la calidad, a continuación, la tabla muestra cómo se calcula la calidad antes de aplicar la automatización.

Tabla 4.7: Cálculo de la calidad sin automatización.

| |
|--|
| Humedad deseada de 6 a 7 (HD) |
| 6.5 |
| Humedad en producción |
| 4.5 |
| 5.7 |
| 6.8 |
| 4.3 |
| 4.8 |
| 5.2 |
| Promedio de humedad en producción (PHP) |
| 5.216666667 |
| Calidad (C) |
| 80% |

Elaboración propia

Finalmente se determina el OEE.

Tabla 4.8: Calculo de OEE antes de la automatización.

| |
|--------------------|
| OEE = D*R*C |
| 76% |

Elaboración propia

Para hallar la efectividad global del filtro después de aplicar la automatización, es necesario hallar primero el rendimiento, a continuación, la tabla muestra cómo se calcula.

Tabla 4.9: Cálculo del rendimiento con automatización.

| |
|--|
| Capacidad de producción en toneladas (CP) |
| 12 |
| Toneladas producidas por ciclo |
| 12 |
| 11.8 |
| 11.9 |
| 11.9 |
| 12 |
| 11.8 |
| Promedio de toneladas producidas por ciclo (PTPC) |
| 11.9 |
| Rendimiento $R=PTPC/CP$ |
| 99% |

Elaboración propia

También es importante hallar la disponibilidad, a continuación, la tabla muestra cómo se calcula la disponibilidad después de aplicar la automatización.

Tabla 4.10: Cálculo de la disponibilidad con automatización.

| |
|--|
| Tiempo disponible (TD) |
| 365 |
| Tiempo productivo (TP) |
| 349 |
| Disponibilidad $D=TP/TD$ |
| 96% |

Elaboración propia

Otro factor importante es la calidad, a continuación, la tabla muestra cómo se calcula la calidad después de aplicar la automatización.

Tabla 4.11: Cálculo de la calidad con automatización.

| |
|--|
| Humedad deseada de 6 a 7 (HD) |
| 6.5 |
| Humedad en producción |
| 6.5 |
| 5.4 |
| 5.7 |
| 6.8 |
| 5.8 |
| 5.2 |
| Promedio de humedad en producción (PHP) |
| 5.9 |
| Calidad (C) |
| 90% |

Elaboración propia

Otro factor importante es la calidad, a continuación, la tabla muestra cómo se calcula la calidad después de aplicar la automatización.

Tabla 4.12: Calculo de OEE después de la automatización.

| |
|--------------------|
| OEE = D*R*C |
| 86% |

Elaboración propia

Este índice hallado indica que la eficiencia del equipo mejoró en un 10% después de la automatización.

CONCLUSIONES

Con el diseño e implementación del sistema de automatización del filtro prensa Sperry para la optimización del filtrado de concentrado de plomo en la planta concentradora de CIA Casapalca se logró recuperar 12.5 toneladas en promedio por mes de concentrado de plomo que se iban a las cochas de recuperación por lavado de lonas y tuberías, reduciendo las horas hombre en 30 horas al realizar el proceso de recuperación de las cochas como se muestra en la tabla 25.

Se redujo los tiempos de filtrado por ciclo, al integrar los procesos que se tenían en controles separados en uno solo. A su vez parametrizando el tiempo de secado para obtener un concentrado de plomo con una humedad de 6 a 7%. Se implementó un control de tiempo para la etapa de secado que el operador puede parametrizar en el HMI y con esta parametrización se logró reducir el tiempo promedio que se tenía de 111 minutos a 72.3 minutos en un ciclo de filtrado.

Se optimizó la demanda de aire de secado del filtro Sperry porque este es un parámetro a controlar mediante el PLC y parametrizado a través del HMI. La figura 47 muestra la tendencia del historial de medidas del horómetro, la línea naranja indica que sin la automatización la demanda de aire será mayor que cuando se aplicó la automatización representada por la línea azul.

Con la automatización del filtro Sperry se mejoró la eficiencia del equipo que sin la automatización estaba en 76% a un 86% que está dentro de los estándares de mantenimiento.

RECOMENDACIONES

Se recomienda como mejora continua, seguir implementando instrumentos de medición que pueda contribuir con la mejora de eficiencia del Filtro Sperry.

Se recomienda seguir normas y estándares adecuados en la implementación de Sistemas de Control.

Se recomienda seguir la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) para lograr los objetivos y realizar los productos entregables en cada etapa del proyecto. Con la EDT se puede organizar y establecer los trabajos de las etapas del proyecto. Esto sirve como base para la planificación del proyecto. Estos lineamientos están dados por el Project Management Institute (PMI).

Se recomienda tener diagramas P&ID del proceso, actualizados y con manejo de versiones, según las modificaciones realizadas en proyectos.

Se recomienda monitorear la calidad de aire comprimido usado para el secado de concentrados de mineral. Basado en la experiencia de la presente investigación la excesiva humedad hace que se acumule agua en los pulmones de aire, ocasionando la reducción de volumen de aire comprimido almacenado.

Se recomienda la estandarización de pantallas HMI usadas en todos los procesos de Planta Concentradora, de acuerdo a las buenas prácticas indicadas en el estándar ISA 101.

Se recomienda continuar realizando la automatización de los procesos que se tienen en forma manual, para aumentar la eficiencia de los equipos.

REFERENCIAS

- ABB. (2019). *Manual de Variador ACS880*. Obtenido de <https://new.abb.com/drives/es>
- ABB. (2012). *Manual de Firmware Programa de control primario ACS880*. ABB industrial drives.
- ABB. (2018). *Options for ABB Drives, Converters and Inverters FENA-01/-11/-21 Ethernet Adapter Module User's Manual*. ABB.
- Allen-Bradley. (2016). *Controladores CompactLogix 5370*. Rockwell Automation.
- Allen-Bradley. (2019). *E1 Plus Overload Relay Specifications*. Rockwell Automation.
- ANDRITZ. (2018). *ANDRITZ filtros prensa, lonas filtrantes, placas y servicios*. ANDRITZ Separation Peru.
- ANSI/ISA-5.1-2009 Instrumentation Symbols and Identification. (2009). United States of America: AMERICAN NATIONAL STANDARD.
- ANSI/ISA. (2009). *American National Standard ANSI/ISA-5.1-2009 Instrumentation Symbols and Identification*.
- Basu, S., & Debnath, A. K. (2019). *Power Plant Instrumentation and Control Handbook: A Guide to Thermal Power Plants 2nd Edition*. United States of America: Academic Press.
- Benítez, J. L., & Chérrez, R. F. (2015). *Modelo De Gestión Para Proyectos De Ingeniería De Automatización Y Control, Caso De Estudio: Sistema Scada Para El Área De Producción De Una Empresa De Calzado*. Universidad De Fuerzas Armadas,

- Bertotti, G., & Mayergoz, I. (2006). *The Science of Hysteresis: 3-volume set 1st Edition*: Academic Press.
- Bohórquez, E. D., Prado, E. A., & Ramirez, M. F. (2019). *Implementación de la norma ISA 101, sobre las HMI, pertenecientes a los módulos de instrumentación de la Universidad ECCI*. Universidad ECCI Seminario Internacional.
- Boylestad, R., & Nashelsky, L. (2012). *Electronic Devices and Circuit Theory (11th Edition)*: Pearson.
- Bustillo, M., Crespo, E., Calvo, J. P., & Pozo, M. (2018). *Minerías Industriales*. España: Fuego.
- Garriga, A. (2018). *Guía práctica en gestión de proyectos: Un libro ameno, práctico y fácil de aplicar. (Spanish Edition) Kindle Edition*. Amazon Digital Services LLC.
- CIA-Casapalca. (2014). *Memoria Anual CIA Minera Casapalca*.
- Clark, N. (2018). *PLC Programming Using RSLogix 500: A Practical Guide to Ladder Logic and the RSLogix 500 Environment Kindle Edition*. Nathan Clark.
- CompactLogix Controllers Specifications. (2018). Allen-Bradley.
- Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial*: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- del Valle, M., & Iturralde, S. A. (2017). *Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control*: Editorial UPSE.
- Erickson, K. (2016). *Programmable Logic Controllers: An Emphasis on Design and Application, Third Edition*. Dogwood Vally Press.

- Hollifield, B. (2012). *International Society of Automation ISA*. Obtenido de <https://www.isa.org/standards-publications/isa-publications/intech-magazine/2012/december/system-integration-the-high-performance-hmi/>
- Hollifield, B., Oliver, D., Nimmo, I., & Habibi, E. (2008). *The High Performance HMI Handbook - A Comprehensive Guide to Designing, Implementing and Maintaining Effective HMIs for Industrial Plant Operations*. Houston, United States of America: Digital Books.
- Morales, J. (2011). *Automatización, Control Y Optimización De Los Procesos De Producción De Un Complejo Metalúrgico*. Universidad Iberoamericana,
- ODVA. (2016). *EtherNet/IP CIP on Ethernet Technology*. Retrieved from www.odva.org
- Orozco, G. A. (2013). *Desarrollo de una Interfaz Hombre-Máquina aplicado a un Sistema de Detección de Fallos en una Planta Intercambiadora de Calor*. Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Petruzella, F. (2016). *Programmable Logic Controllers*. McGraw-Hill Education.
- PMI. (2017). *Guía De Los Fundamentos Para La Dirección De Proyectos - Guía del PMBOK*: PMI.
- Rabiee, M. (2012). *Programmable Logic Controllers: Hardware and Programming 3rd Edition*. Goodheart-Willcox.
- R&D-Equipment. (2019). *Filtro de Marco y Placa – Sperry*. Obtenido de <http://www.rdequipmentco.com/product/plateframefilters-sperry>.
- Rockwell Automation. (2019). Obtenido de <https://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers>

- Sanabria, E. A. (2015). *Determinación Del Tiempo Óptimo De Un Ciclo De Filtración En Un Filtro Prensa Mediante Modelamiento Matemático*. Universidad Nacional Del Centro Del Perú,
- Schiffer, V. (2016). *The Common Industrial Protocol (CIP™) and the Family of CIP Networks*: ODVA, Inc.
- Vuistaz, N., Nieva, N., & Martinez, A. (2018). *Controlador Logico Programable para Soluciones de Automatización y Control en la Pequeña y Mediana Empresa*. Universidad Nacional de la Matanza - ReDDI.

ANEXOS

ANEXO A: HOJA DE DATOS DE CONTROLADOR

COMPACTLOGIX 5370 L3

Funcionalidad del controlador

La [Tabla 2](#) describe la funcionalidad disponible con los controladores CompactLogix 5370.

Tabla 2 - Funcionalidad del controlador CompactLogix 5370

| N.º de cat. | Tareas del controlador compatibles | Programas compatibles por tarea | Solución de almacenamiento de energía interna | Compatibilidad con topología de red EtherNet/IP | Clasificación de distancia respecto a la fuente de alimentación eléctrica | Tamaño de la memoria del usuario incorporada | Compatibilidad con módulo de E/S locales | | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|---|---|--|--|--|--------|----------------------------------|------------------------------|
| 1769-L16ER-BB1B | 32 | 1000 | Sí – Se elimina la necesidad de una batería | Compatibilidad con las siguientes topologías: <ul style="list-style-type: none"> • Anillo a nivel de dispositivos (DLR) • Lineal • En estrella tradicional | NA | 384 KB | Hasta seis módulos 1734 POINT I/O ⁽³⁾ | | | | |
| 1769-L18ER-BB1B | | | | | | 512 KB | Hasta ocho módulos 1734 POINT I/O ⁽³⁾ | | | | |
| 1769-L18ERM-BB1B | | | | | | 1 MB | | | | | |
| 1769-L19ER-BB1B | | | | | | | | Consulte la nota al pie ⁽²⁾ | 768 KB | Hasta cuatro módulos Compact I/O | |
| 1769-L24ER-QB1B | | | | | | | | | 1 MB | | |
| 1769-L24ER-QBFC1B | | | | | | | | | | | |
| 1769-L27ERM-QBFC1B | | | | | | | | | | | |
| 1769-L30ER | | | | | | | | 4 | 1 MB | Hasta ocho módulos Compact I/O | |
| 1769-L30ER-NSE | | | | | | | | | | | |
| 1769-L30ERM | | | | | | | | | | | |
| 1769-L33ER | | | | | | | | | | 2 MB | Hasta 16 módulos Compact I/O |
| 1769-L33ERM | | | | | | | | | | | |
| 1769-L33ERMO | | | | | | | | | | | — |
| 1769-L36ERM | | | | | | | | | | 3 MB | Hasta 30 módulos Compact I/O |
| 1769-L36ERMO | | | | | | | | | | | |
| 1769-L37ERMO ⁽¹⁾ | | | | | | | | | | | |

Ejemplos de configuraciones del sistema

Los controladores CompactLogix 5370 aceptan las siguientes redes:

- Red EtherNet/IP – Todos los controladores CompactLogix 5370
- Red DeviceNet – Solo controladores CompactLogix 5370 L2 y L3

Red EtherNet/IP

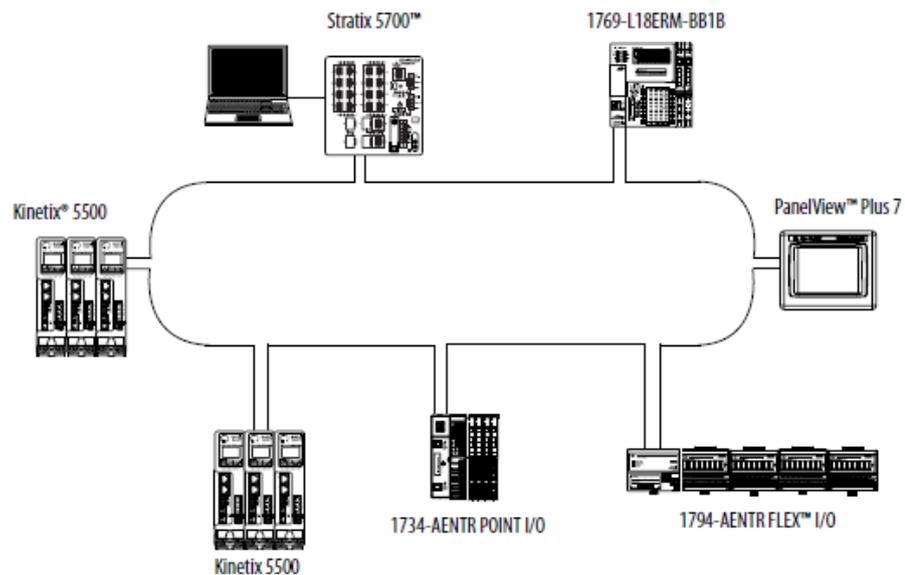
IMPORTANTE La [Figura 1](#), la [Figura 2](#) y la [Figura 3](#) muestran controladores CompactLogix 5370 que se utilizan en una topología de red DLR en una red EtherNet/IP. Puede usar también controladores CompactLogix 5370 en topologías de red EtherNet/IP lineal o en estrella.

Para obtener más información sobre las otras topologías de red EtherNet/IP consulte [Comunicación sobre redes en la página 121](#).

Algunos de los controladores CompactLogix 5370 aceptan movimiento integrado sobre una red EtherNet/IP, si se desea. Para obtener más información sobre el uso del movimiento integrado en una red EtherNet/IP consulte el Capítulo 11, [Desarrollo de movimiento integrado sobre una aplicación de red EtherNet/IP en la página 283](#).

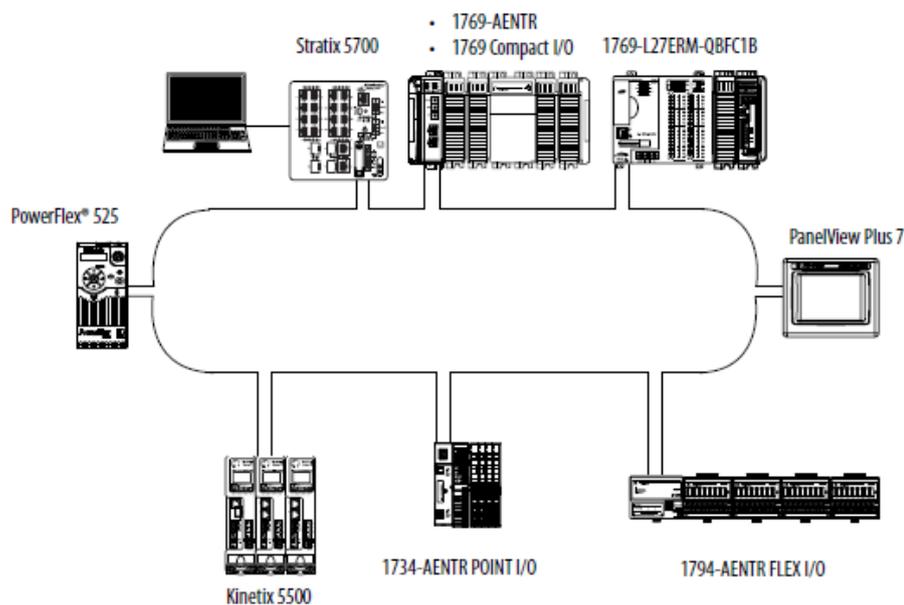
La [Figura 1](#) muestra un ejemplo de configuración de sistema EtherNet/IP para un controlador 1769-L18ERM-BB1B.

Figura 1 - Ejemplo de configuración de sistema de control 1769-L18ERM-BB1B en una red EtherNet/IP



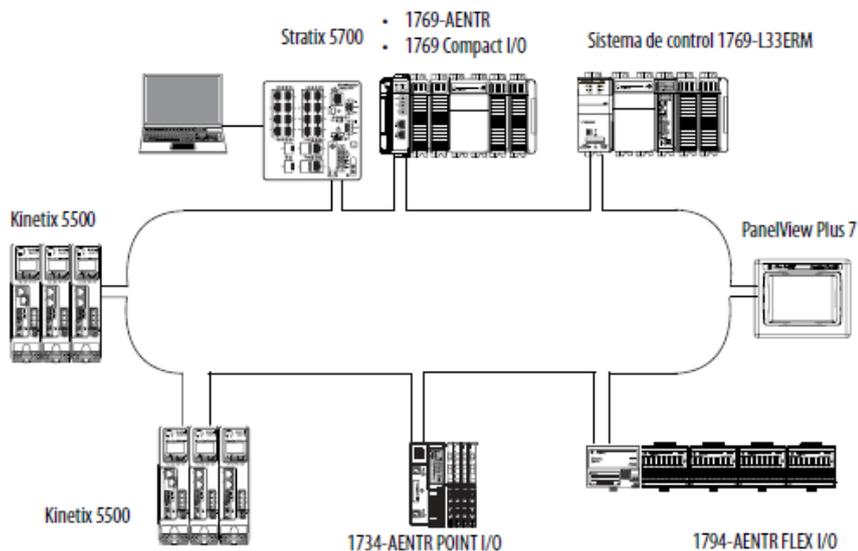
La [Figura 2](#) muestra un ejemplo de configuración de sistema EtherNet/IP en un controlador 1769-L27ERM-QBFC1B.

Figura 2 - Ejemplo de configuración de sistema de control 1769-L27ERM-QBFC1B en una red EtherNet/IP



La [Figura 3](#) muestra un ejemplo de configuración de sistema EtherNet/IP en un controlador 1769-L33ERM.

Figura 3 - Ejemplo de configuración de sistema de control 1769-L33ERM en una red EtherNet/IP

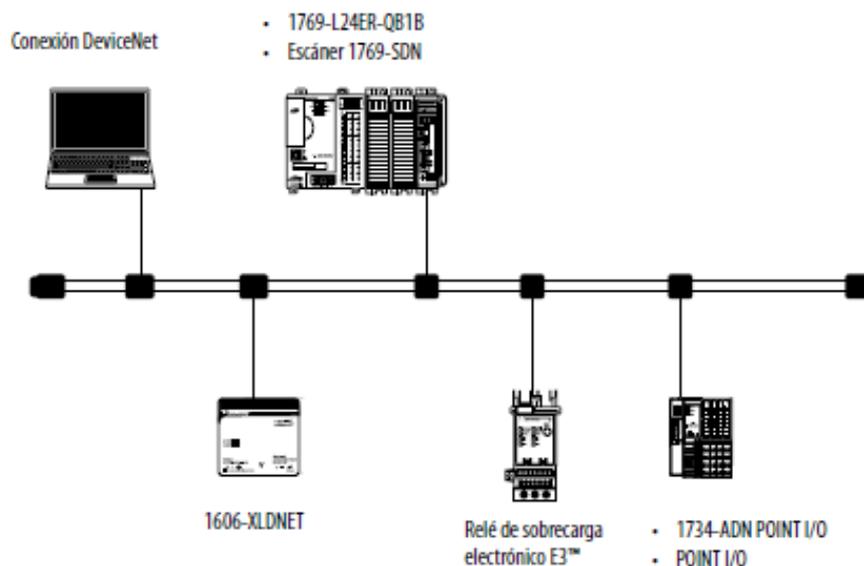


Red DeviceNet

IMPORTANTE Los controladores CompactLogix 5370 L2 y L3 pueden enviar mensajes a dispositivos en la red DeviceNet; sin embargo, estos **controladores no pueden recibir** mensajes de esos dispositivos en la red DeviceNet.

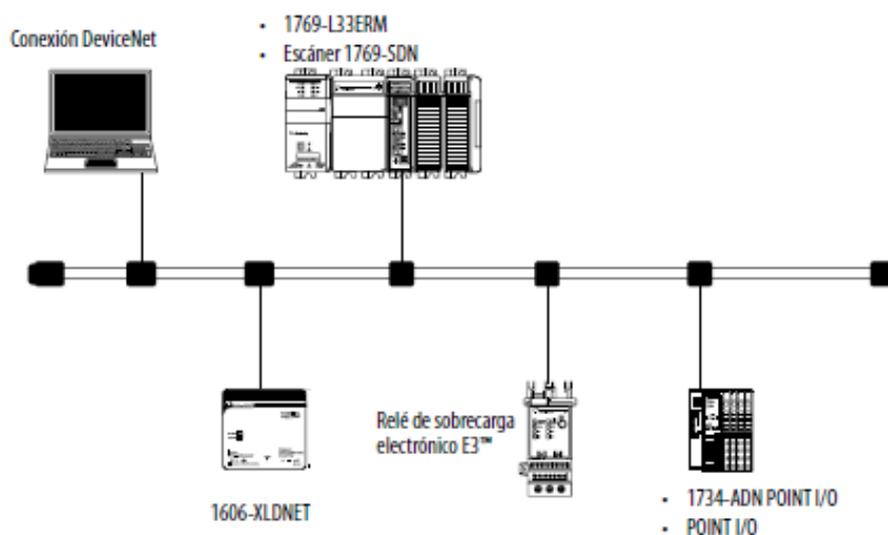
La [Figura 4](#) muestra un ejemplo de configuración de sistema DeviceNet para un controlador CompactLogix 1769-L24ER-QB1B.

Figura 4 - Ejemplo de configuración de sistema de control 1769-L24ER-QB1B en una red DeviceNet



La [Figura 5](#) muestra un ejemplo de configuración de sistema DeviceNet para un controlador CompactLogix 1769-L33ERM.

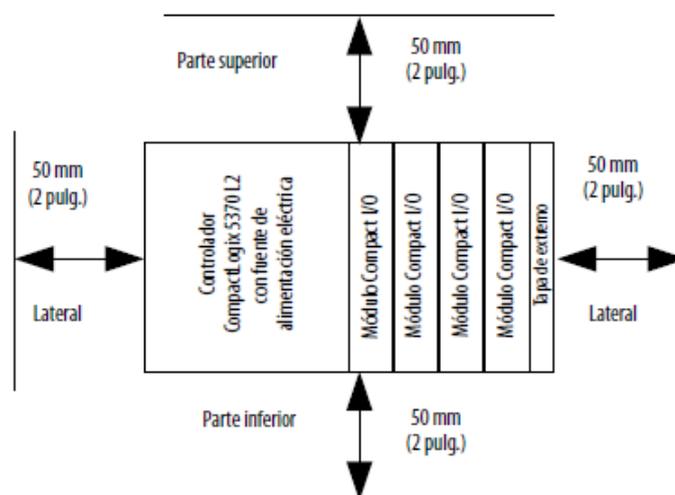
Figura 5 - Ejemplo de configuración de sistema de control 1769-L33ERM en una red DeviceNet



Para obtener más información sobre cómo utilizar los controladores CompactLogix 5370 L2 o L3 en las redes DeviceNet consulte [Comunicación sobre redes en la página 121](#).

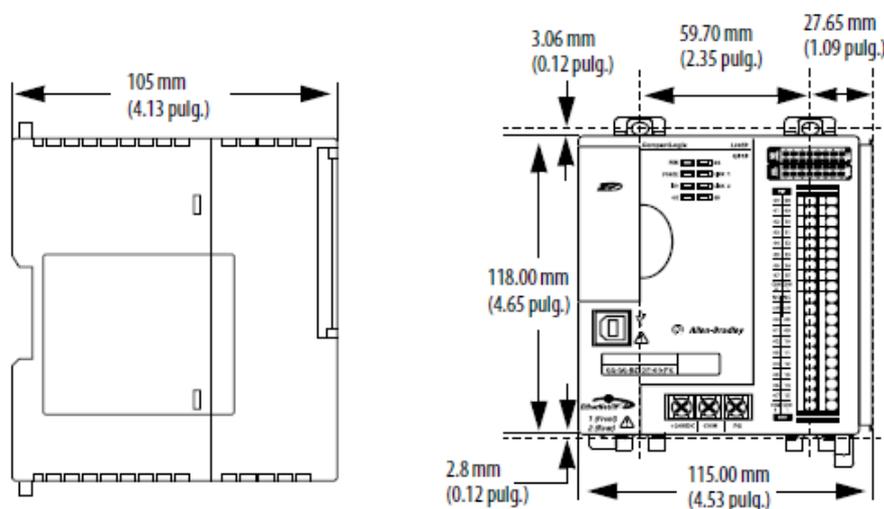
Separación mínima

Mantenga una separación con respecto a las paredes del envolvente, las canaletas de cables y el equipo adyacente. Deje una separación de 50 mm (2 pulg.) en todos los lados, tal y como se indica. De este modo, el equipo dispone de ventilación y de aislamiento eléctrico.

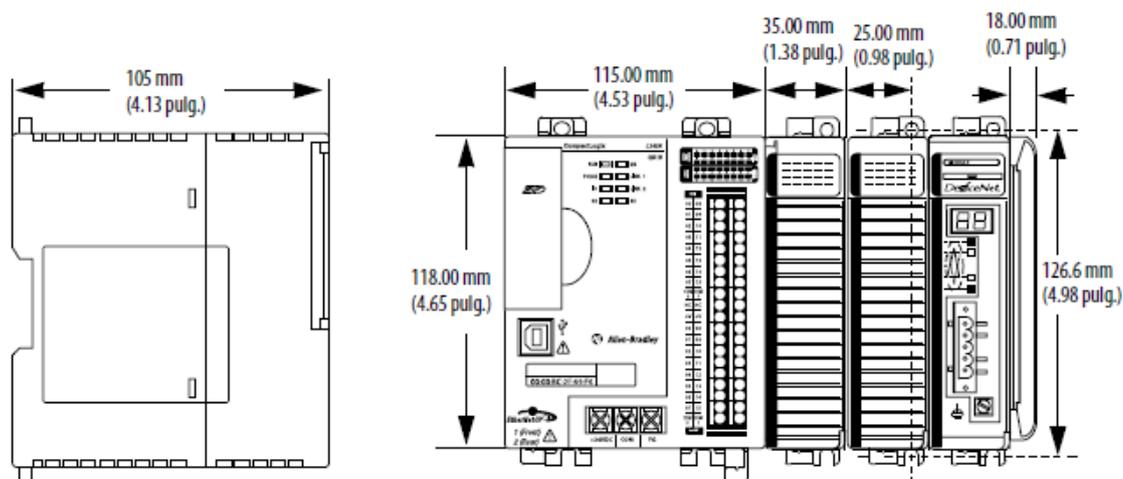


Dimensiones del sistema

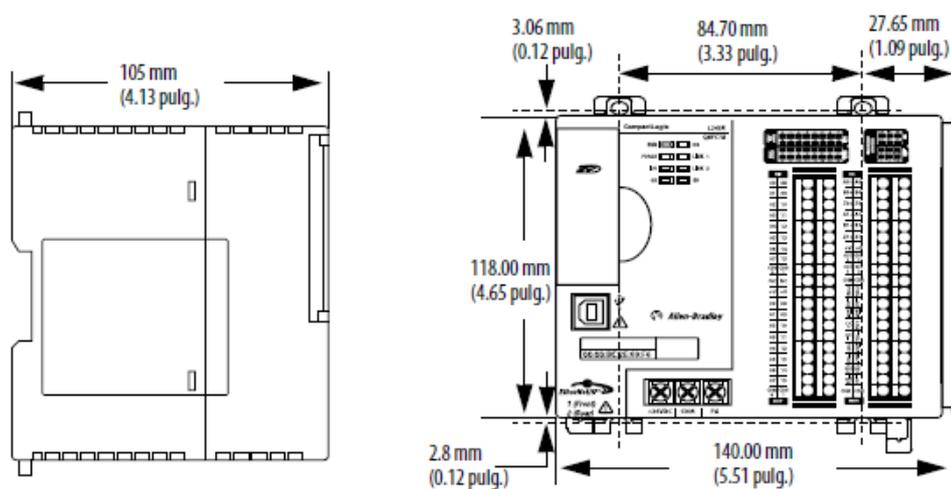
Este gráfico muestra las dimensiones del sistema para el controlador 1769-L24ER-QB1B.



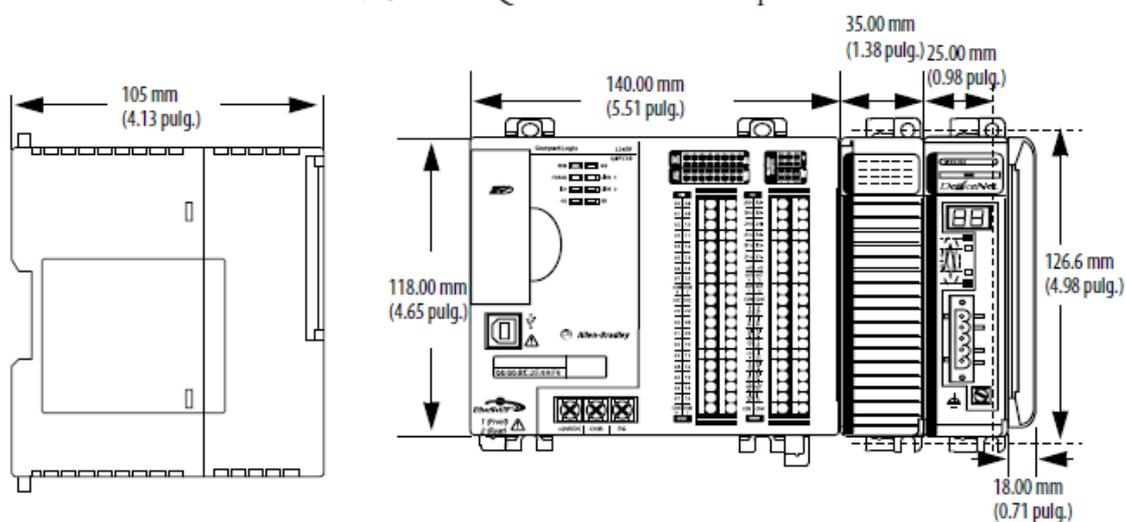
Este gráfico muestra las dimensiones del sistema para el controlador 1769-L24ER-QB1B con módulos expansores instalados.



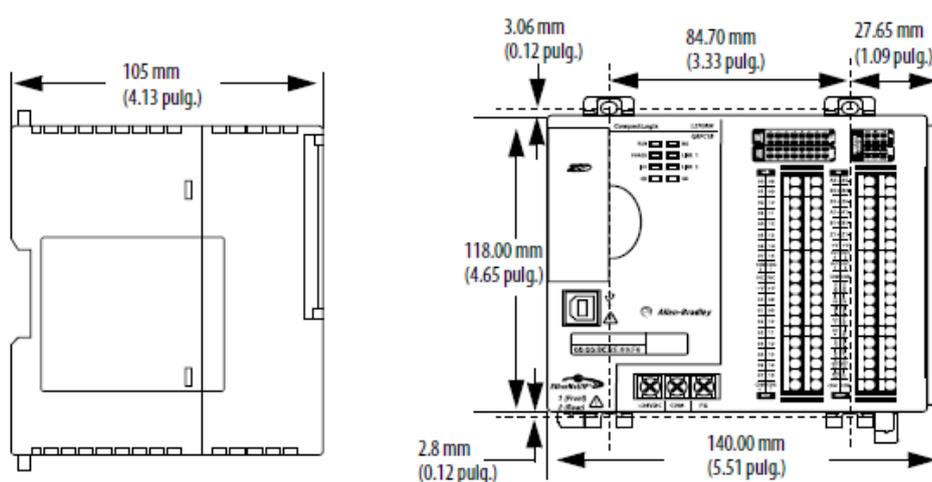
Este gráfico muestra las dimensiones del sistema para el controlador 1769-L24ER-QBFC1B.



Este gráfico muestra las dimensiones del sistema para el controlador 1769-L24ER-QBFC1B con módulos expansores instalados.

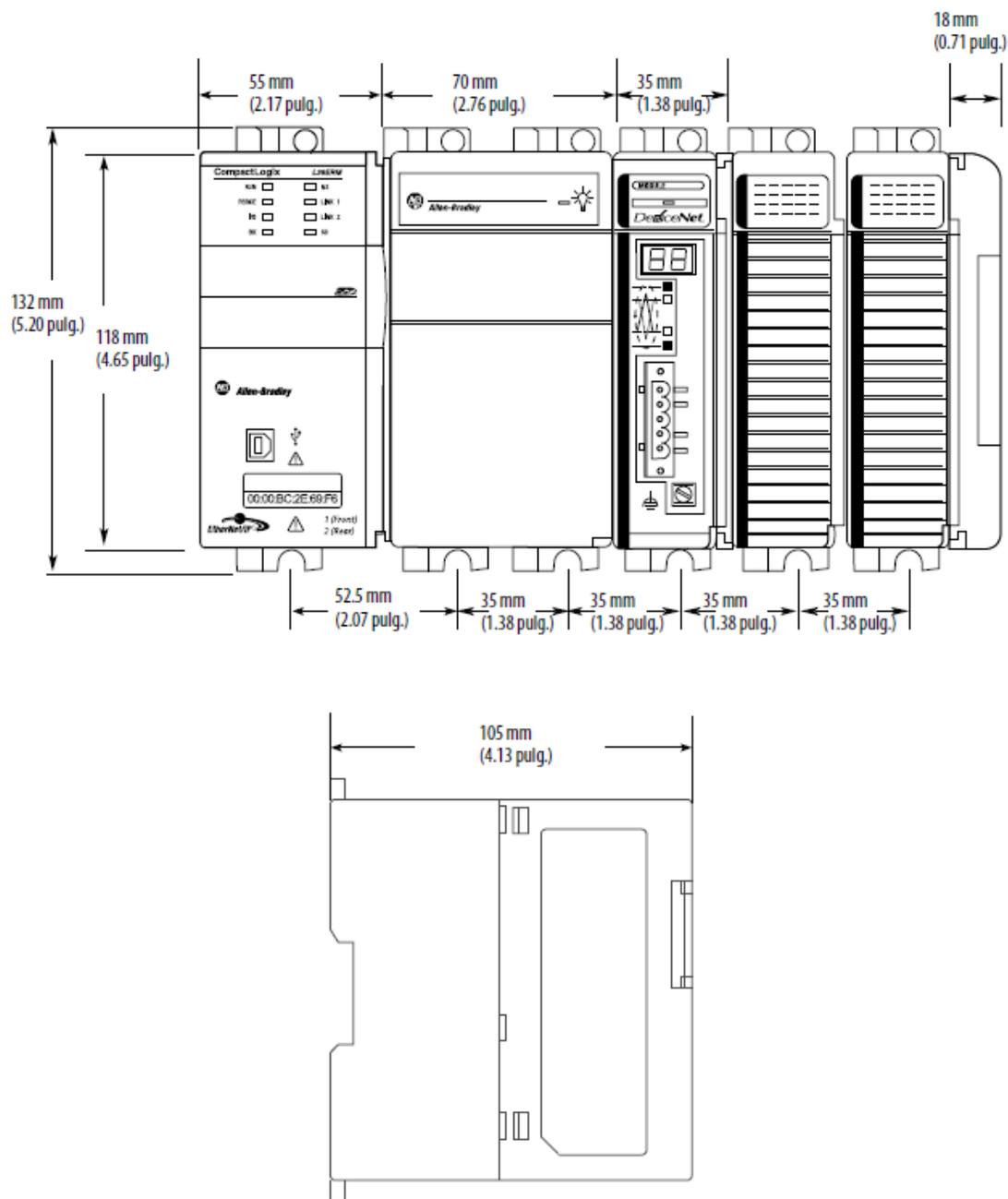


Este gráfico muestra las dimensiones del sistema para el controlador 1769-L27ERM-QBFC1B.



Dimensiones del sistema

Este gráfico muestra las dimensiones del sistema.



ANEXO B: NORMAS ISA

Tabla 1: Miscelánea de dispositivos de instrumentación o símbolos de función.

Fuente: (ANSI/ISA, 2009)

Note: Numbers in parentheses refer to explanatory notes in Clause 5.3.1.

| No | Symbol | Description |
|----|-------------|--|
| 1 | | <ul style="list-style-type: none"> Signal processing function: Locate in upper right or left quadrant of symbols above. Attach to symbols above where affected signals are connected. Insert signal processing symbol from Table 5.6 Expand symbol by 50% increments for larger function symbols. |
| 2 | | <ul style="list-style-type: none"> Panel-mounted patchboard plug-in point. Console matrix point. C-12 equals patchboard column and row respectively, as an example. |
| 3 | (7) (8) | <ul style="list-style-type: none"> Generic interlock logic function. Undefined interlock logic function. |
| 4 | (7) (8) | <ul style="list-style-type: none"> 'AND' interlock logic function. |
| 5 | (7) (8) | <ul style="list-style-type: none"> 'OR' interlock logic function. |
| 6 | | <ul style="list-style-type: none"> Instruments or functions sharing a common housing. It is not mandatory to show a common housing. Notes shall be used to identify instruments in common housings not using this symbol. |
| 7 | | <ul style="list-style-type: none"> Pilot light. Circle shall be replaced with any symbol from column D in Table 5.1.1 if location and accessibility needs to be shown. |

Tabla 2: Símbolos de medida: elementos primarios y transmisores.

Fuente: (ANSI/ISA, 2009)

Note: Numbers in parentheses refer to explanatory notes in Clause 5.3.2.

| No | Symbol | Description |
|----|------------------|--|
| 1 | (1a) (2) | <ul style="list-style-type: none"> Generic primary element, bubble format. Notation (*) from Table 5.2.2 should be used to identify type of element. Connect to process or other instruments by symbols from Tables 5.3.1 and 5.3.2. Insert in or on process flow line, vessel, or equipment. |
| 2 | (1a) (2) (3) | <ul style="list-style-type: none"> Transmitter with integral primary element, bubble format. Notation (*) from Table 5.2.2 should be used to identify type of element. Connect to process or other instruments by symbols from Tables 5.3.1 and 5.3.2. Insert in or on process flow line, vessel, or equipment. |
| 3 | (1a) (2) (3) | <ul style="list-style-type: none"> Transmitter with close coupled primary element, bubble format Notation (*) from Table 5.2.2 should be used to identify type of element. Connecting line shall be equal to or less than 0.25 inches (6 millimeters). Connect to process or other instruments by symbols from Tables 5.3.1 and 5.3.2. Insert element in or on process flow line, vessel, or equipment. |
| 4 | (1a) (3) | <ul style="list-style-type: none"> Transmitter with remote primary element, bubble format. Notation (*) from Table 5.2.2 should be used to identify type of element. Connecting line shall be equal to or greater than 0.5 inches (12 millimeters). Connect to process or other instruments by symbols from Tables 5.3.1 and 5.3.2. Insert element in or on process flow line, vessel, or equipment. |
| 5 | (1b) (3) | <ul style="list-style-type: none"> Transmitter with integral primary element inserted in or on process flow line, vessel, or equipment, bubble/graphic format. Insert primary element symbol from Table 5.2.3 at #. Connect to other instruments by symbols from Table 5.3.2. |
| 6 | (1b) (3) | <ul style="list-style-type: none"> Transmitter with close-coupled primary element inserted in or on process flow line, vessel, or equipment, bubble/graphic format. Insert primary element symbol from Table 5.2.3 at #. Connecting line shall be equal to or less than 0.25 inches (6 millimeters). Connect to other instruments by symbols from Table 5.3.2. |
| 7 | (1b) (3) | <ul style="list-style-type: none"> Transmitter with remote primary element inserted in or on process flow line, vessel, or equipment, bubble/graphic format. Insert primary element symbol from Table 5.2.3 at #. Connecting line may be any signal line from Table 5.2.3. Connecting line shall be equal to or greater than 0.5 inches (12 millimeters). Connect to other instruments by symbols from Table 5.3.2. |

Tabla 3: Símbolos de medidas: elementos primarios.

Fuente: (ANSI/ISA, 2009)

Note: Numbers in parentheses refer to explanatory notes in Clause 5.3.2.

| No | Symbol (4) | Description |
|---------------|------------|---|
| Analysis 1 | | <ul style="list-style-type: none"> Conductivity, moisture, etc. Single element sensing probe. |
| Analysis 2 | | <ul style="list-style-type: none"> pH, ORP, etc. Dual element sensing probe. |
| Analysis 3 | | <ul style="list-style-type: none"> Fiberoptic sensing probe. |
| Burner 4 | | <ul style="list-style-type: none"> Ultraviolet flame detector. Television flame monitor. |
| Burner 5 | | <ul style="list-style-type: none"> Flame rod flame detector. |
| Flow 6 | | <ul style="list-style-type: none"> Generic orifice plate. Restriction orifice. |
| Flow 7 | | <ul style="list-style-type: none"> Orifice plate in quick-change fitting. |
| Flow 8 | | <ul style="list-style-type: none"> Concentric circle orifice plate. Restriction orifice. |
| Flow 9 | | <ul style="list-style-type: none"> Eccentric circle orifice plate. |
| Flow 10 | | <ul style="list-style-type: none"> Circle quadrant orifice plate. |
| Flow 11 | | <ul style="list-style-type: none"> Multi-hole orifice plate |
| Flow 12 | | <ul style="list-style-type: none"> Generic venturi tube, flow nozzle, or flow tube. Notation from Table 5.2.2 required at (*) if used for more than one type. |
| Flow 13 | | <ul style="list-style-type: none"> Venturi tube. |
| Flow 14 | | <ul style="list-style-type: none"> Flow nozzle. |
| Flow 15 | | <ul style="list-style-type: none"> Flow tube. |

Tabla 4: Símbolos de medidas: elementos primarios (continuación).

Fuente: (ANSI/ISA, 2009)

Note: Numbers in parentheses refer to explanatory notes in Clause 5.3.2.

| No | Symbol (4) | Description |
|---------|---------------|--|
| Flow 16 | | <ul style="list-style-type: none"> Integral orifice plate. |
| Flow 17 | | <ul style="list-style-type: none"> Standard pitot tube. |
| Flow 18 | | <ul style="list-style-type: none"> Averaging pitot tube. |
| Flow 19 | | <ul style="list-style-type: none"> Turbine flowmeter. Propeller flowmeter. |
| Flow 20 | | <ul style="list-style-type: none"> Vortex shedding flowmeter |
| Flow 21 | | <ul style="list-style-type: none"> Target flowmeter. |
| Flow 22 | (4) a) b) | <ul style="list-style-type: none"> Magnetic flowmeter. |
| Flow 23 | (4) a) b) | <ul style="list-style-type: none"> Thermal mass flowmeter. |
| Flow 24 | | <ul style="list-style-type: none"> Positive displacement flowmeter. |
| Flow 25 | | <ul style="list-style-type: none"> Cone meter. Annular orifice meter. |
| Flow 26 | | <ul style="list-style-type: none"> Wedge meter. |
| Flow 27 | | <ul style="list-style-type: none"> Coriolis flowmeter. |
| Flow 28 | | <ul style="list-style-type: none"> Sonic flowmeter. Ultrasonic flowmeter. |
| Flow 29 | | <ul style="list-style-type: none"> Variable area flowmeter. |
| Flow 30 | | <ul style="list-style-type: none"> Open channel weir plate. |

Tabla 5: Símbolos de medidas: elementos primarios (continuación).

Fuente: (ANSI/ISA, 2009)

Note: Numbers in parentheses refer to explanatory notes in Clause 5.3.2.

| | No | Symbol (4) | Description |
|----------|----|------------|---|
| Flow | 31 | | <ul style="list-style-type: none"> Open channel flume. |
| Level | 32 | | <ul style="list-style-type: none"> Displacer internally mounted in vessel. |
| Level | 33 | | <ul style="list-style-type: none"> Ball float internally mounted in vessel. May be installed through top of vessel. |
| Level | 34 | | <ul style="list-style-type: none"> Radiation, single point. Sonic. |
| Level | 35 | | <ul style="list-style-type: none"> Radiation, multi-point or continuous. |
| Level | 36 | | <ul style="list-style-type: none"> Dip tube or other primary element and stilling well. May be installed through side of vessel. May be installed without stilling well. |
| Level | 37 | | <ul style="list-style-type: none"> Float with guide wires. Location of readout should be noted, at grade, at top, or accessible from a ladder. Guide wires may be omitted. |
| Level | 38 | | <ul style="list-style-type: none"> Insert probe. May be through top of vessel. |
| Level | 39 | | <ul style="list-style-type: none"> Radar. |
| Pressure | 40 | | <ul style="list-style-type: none"> Strain gage or other electronic type sensor. Notation (*) from Table 5.2.2 should be used to identify type of element. Connection symbols 6, 7, 8, or 9 in Table 5.3.1 are used if connection type is to be shown. Bubble may be omitted if connected to another instrument. |

Tabla 6: Símbolos de medida: instrumentos secundarios.

Fuente: (ANSI/ISA, 2009)

Note: Numbers in parentheses refer to explanatory notes in Clause 5.3.2.

| No | Symbol (4) | Description |
|------------------|------------|--|
| Flow 1 | | <ul style="list-style-type: none"> Sight glass. |
| Level 2 | | <ul style="list-style-type: none"> Gage integrally mounted on vessel. Sight glass. |
| Level 3 | | <ul style="list-style-type: none"> Gage glass externally mounted on vessel or standpipe. Multiple gages may be shown as one bubble or one bubble for each section. Use connection 6, 7, 8, or 9 in Table 5.3.1 if connection type is to be shown. |
| Pressure 4 | | <ul style="list-style-type: none"> Pressure gage. Use connection 6, 7, 8, or 9 in Table 5.3.1 if connection type is to be shown. |
| Temperature 5 | | <ul style="list-style-type: none"> Thermometer. Use connection 6, 7, 8, or 9 in Table 5.3.1 if connection type is to be shown. |

Tabla 7: Símbolos de medida: dispositivos auxiliares y accesorios.

Fuente: (ANSI/ISA, 2009)

Note: Numbers in parentheses refer to explanatory notes in Clause 5.3.2.

| No | Symbol (4) | Description |
|------------------|------------|--|
| Analysis 1 | | <ul style="list-style-type: none"> Sample insert probe, flanged. Sample well, flanged. Use connection 7, 8, or 9 in Table 5.3.1 if flange is not used. |
| Analysis 2 | | <ul style="list-style-type: none"> Sample conditioner or other analysis accessory, flanged. Represents single or multiple devices. Use connection 7, 8, or 9 in Table 5.3.1 if flange is not used. |
| Flow 3 | | <ul style="list-style-type: none"> Flow straightening vanes. Flow conditioning element. |
| Flow 4 | | <ul style="list-style-type: none"> Instrument purge or flushing fluid. Instrument purge or flushing device or devices. Show assembly details on drawing legend sheet. |
| Pressure 5 | | <ul style="list-style-type: none"> Diaphragm pressure seal, flanged, threaded, socket welded, or welded. Diaphragm chemical seal, flanged, threaded, socket welded, or welded. Use connection 6, 7, 8, or 9 in Table 5.3.1 if connection type is to be shown. |
| Pressure 6 | | <ul style="list-style-type: none"> Diaphragm pressure seal, welded. Diaphragm chemical seal, welded. |
| Temperature 7 | | <ul style="list-style-type: none"> Thermowell, flanged. Test well, flanged. Bubble may be omitted if connected to another instrument. Use connection 7, 8, or 9 in Table 5.3.1 if flange is not used. |

Tabla 8: Símbolos línea: conexiones a equipos e instrumentos de proceso.

Fuente: (ANSI/ISA, 2009)

Note: Numbers in parentheses refer to explanatory notes in Clause 5.3.3.

| No | Symbol | Application |
|----|--------|--|
| 1 | | <ul style="list-style-type: none"> Instrument connections to process and equipment. Process impulse lines. Analyzer sample lines. |
| 2 | | <ul style="list-style-type: none"> Heat [cool] traced impulse or sample line from process. Type of tracing indicated by: [ET] electrical, [ST] steam, [CW] chilled water, etc. |
| 3 | | <ul style="list-style-type: none"> Generic instrument connection to process line. Generic instrument connection to equipment. |
| 4 | | <ul style="list-style-type: none"> Heat [cool] traced generic instrument impulse line. Process line or equipment may or may not be traced. |
| 5 | | <ul style="list-style-type: none"> Heat [cool] traced instrument. Instrument impulse line may or may not be traced. |
| 6 | | <ul style="list-style-type: none"> Flanged instrument connection to process line. Flanged instrument connection to equipment. |
| 7 | | <ul style="list-style-type: none"> Threaded instrument connection to process line. Threaded instrument connection to equipment. |
| 8 | | <ul style="list-style-type: none"> Socket welded instrument connection to process line. Socket welded instrument connection to equipment. |
| 9 | | <ul style="list-style-type: none"> Welded instrument connection to process line. Welded instrument connection to equipment. |

Tabla 9: Conexiones de instrumento a instrumento.

Fuente: (ANSI/ISA, 2009)

Note: Numbers in parentheses refer to explanatory notes in Clause 5.3.3.

| No | Symbol | Application |
|----|-----------------|---|
| 1 | (1) IA _____ | <ul style="list-style-type: none"> IA may be replaced by PA [plant air], NS [nitrogen], or GS [any gas supply]. Indicate supply pressure as required, e.g., PA-70 kPa, NS-150 psig, etc. |
| 2 | (1) ES _____ | <ul style="list-style-type: none"> Instrument electric power supply. Indicate voltage and type as required, e.g. ES-220 Vac. ES may be replaced by 24 Vdc, 120 Vac, etc. |
| 3 | (1) HS _____ | <ul style="list-style-type: none"> Instrument hydraulic power supply. Indicate pressure as required, e.g., HS-70 psig. |
| 4 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Undefined signal. Use for Process Flow Diagrams. Use for discussions or diagrams where type of signal is not of concern. |
| 5 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Pneumatic signal, continuously variable or binary. |
| 6 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Electronic or electrical continuously variable or binary signal. Functional diagram binary signal. |
| 7 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Functional diagram continuously variable signal. Electrical schematic ladder diagram signal and power rails. |
| 8 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Hydraulic signal. |
| 9 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Filled thermal element capillary tube. Filled sensing line between pressure seal and instrument. |
| 10 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Guided electromagnetic signal. Guided sonic signal. Fiber optic cable. |
| 11 | (3) a) b) | <ul style="list-style-type: none"> Unguided electromagnetic signals, light, radiation, radio, sound, wireless, etc. Wireless instrumentation signal. Wireless communication link. |
| 12 | (4) | <ul style="list-style-type: none"> Communication link and system bus, between devices and functions of a shared display, shared control system. DCS, PLC, or PC communication link and system bus. |
| 13 | (5) | <ul style="list-style-type: none"> Communication link or bus connecting two or more independent microprocessor or computer-based systems. DCS-to-DCS, DCS-to-PLC, PLC-to-PC, DCS-to-Fieldbus, etc. connections. |
| 14 | (6) | <ul style="list-style-type: none"> Communication link and system bus, between devices and functions of a fieldbus system. Link from and to "intelligent" devices. |
| 15 | (7) | <ul style="list-style-type: none"> Communication link between a device and a remote calibration adjustment device or system. Link from and to "smart" devices. |

Tabla 10: Símbolos de elemento de control final.

Fuente: (ANSI/ISA, 2009)

Note: Numbers in parentheses refer to explanatory notes in Clause 5.3.4.

| No | Symbol | Description |
|----|---------------------|---|
| 1 | (1) (2) a) b) | <ul style="list-style-type: none"> Generic two-way valve. Straight globe valve. Gate valve. |
| 2 | (2) (3) | <ul style="list-style-type: none"> Generic two-way angle valve. Angle globe valve. Safety angle valve. |
| 3 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Generic three-way valve. Three-way globe valve. Arrow indicates failure or unactuated flow path. |
| 4 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Generic four-way valve. Four-way four-ported plug or ball valve. Arrows indicates failure or unactuated flow paths. |
| 5 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Butterfly valve. |
| 6 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Ball valve. |
| 7 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Plug valve |
| 8 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Eccentric rotary disc valve. |
| 9 | (1) (2) a) b) | <ul style="list-style-type: none"> Diaphragm valve. |
| 10 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Pinch valve. |
| 11 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Bellows sealed valve. |
| 12 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Generic damper. Generic louver. |
| 13 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Parallel blade damper. Parallel blade louver. |
| 14 | (2) | <ul style="list-style-type: none"> Opposed blade damper. Opposed blade louver. |

Tabla 11: Símbolos de elementos de actuadores.

Fuente: (ANSI/ISA, 2009)

Note: Numbers in parentheses refer to explanatory notes in Clause 5.3.4

| No | Symbol | Description |
|----|--------|---|
| 1 | (7) | <ul style="list-style-type: none"> Generic actuator. Spring-diaphragm actuator. |
| 2 | (7) | <ul style="list-style-type: none"> Spring-diaphragm actuator with positioner. |
| 3 | (7) | <ul style="list-style-type: none"> Pressure-balanced diaphragm actuator. |
| 4 | (7) | <ul style="list-style-type: none"> Linear piston actuator. Single acting spring opposed Double acting. |
| 5 | (7) | <ul style="list-style-type: none"> Linear piston actuator with positioner. |
| 6 | (7) | <ul style="list-style-type: none"> Rotary piston actuator. May be single acting spring opposed or double acting. |
| 7 | (7) | <ul style="list-style-type: none"> Rotary piston actuator with positioner. |
| 8 | (7) | <ul style="list-style-type: none"> Bellows spring opposed actuator. |
| 9 | (7) | <ul style="list-style-type: none"> Rotary motor operated actuator. Electric, pneumatic, or hydraulic. Linear or rotary action. |
| 10 | (7) | <ul style="list-style-type: none"> Modulating solenoid actuator. Solenoid actuator for process on-off valve. |
| 11 | (7) | <ul style="list-style-type: none"> Actuator with side-mounted handwheel. |

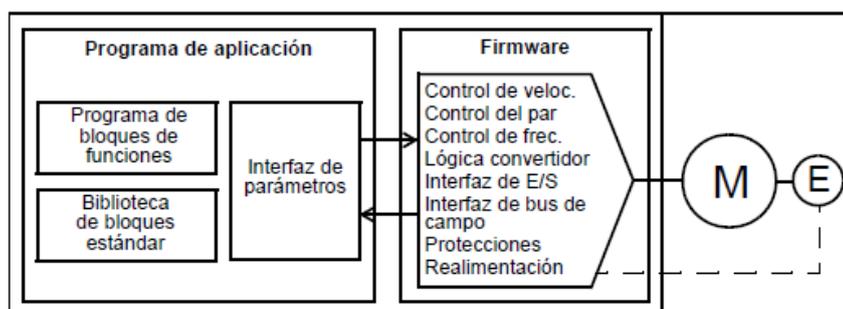
ANEXO C: CONVERTIDOR ACS880 DE ABB

Configuración y programación del convertidor

El programa de control del convertidor está dividido en dos partes:

- programa del firmware
- programa de aplicación.

Programa de control del convertidor



El programa del firmware se ocupa de las funciones de control principales e incluye las funciones de control de velocidad y par, lógica del convertidor (marcha/paro), E/S, realimentación, comunicación y protección. Las funciones del firmware se configuran y programan empleando parámetros.

■ Programación con parámetros

Los parámetros pueden ajustarse mediante

- el panel de control, como se describe en el capítulo [Uso del panel de control](#),
- la herramienta para PC Drive composer, tal como se describe en el [Manual del usuario de Drive composer \(3AUA0000094606 \(Inglés\)\)](#), o
- la interfaz de bus de campo, como se describe en los capítulos [Control del bus de campo a través de la interfaz de bus de campo integrado \(EFB\)](#) y [Control de bus de campo a través de un adaptador de bus de campo](#).

Todos los ajustes de los parámetros se guardan automáticamente en la memoria permanente del convertidor. Sin embargo, si se emplea una fuente de alimentación externa +24 V CC para la unidad de control del convertidor, se recomienda encarecidamente forzar un guardado mediante el parámetro [96.07 Guardar los parámetros](#) antes de desconectar la unidad de control después de cualquier cambio de parámetros.

Si es necesario, los valores de parámetros por defecto pueden restaurarse mediante el parámetro [96.06 Restauración de parámetros](#).

Interfaces de control

■ Entradas analógicas programables

La unidad de control del convertidor posee dos entradas analógicas programables. Cada una de las entradas puede ajustarse independientemente como entrada de tensión (0/2...10 V o -10...10 V) o intensidad (0/4...20 mA) mediante un puente de la unidad de control del convertidor. Todas las entradas pueden filtrarse, invertirse y escalarse. El número de entradas analógicas puede incrementarse utilizando las ampliaciones de E/S FIO-xx.

Ajustes

Grupo de parámetros [12 AI Estandar](#) (página 96).

■ Salidas analógicas programables

La unidad de control del convertidor dispone de dos salidas analógicas de intensidad (0...20 mA). Todas las entradas pueden filtrarse, invertirse y escalarse. El número de salidas analógicas puede incrementarse utilizando las ampliaciones de E/S FIO-xx.

Ajustes

Grupo de parámetros [13 AO Estandar](#) (página 99).

■ Entradas y salidas digitales programables

El convertidor posee seis entradas digitales, una entrada digital de bloqueo de marcha y dos entradas/salidas digitales.

Una entrada digital (DI6) funciona también como entrada de termistor PTC. Véase el apartado [Protección térmica del motor](#) (página 50).

La entrada/salida digital DIO1 puede utilizarse como entrada de frecuencia; DIO2 como salida de frecuencia.

El número de entradas/salidas digitales puede incrementarse utilizando las ampliaciones de E/S FIO-xx.

Ajustes

Grupos de parámetros [10 DI, RO Estandar](#) (página 85) y [11 DIO, Fen, Fsal Estandar](#) (página 91).

■ Salidas de relé programables

La unidad de control del convertidor posee tres salidas de relé. La señal que deberán transmitir las salidas puede seleccionarse mediante parámetros.

Pueden agregarse salidas de relé empleando las ampliaciones de E/S FIO-0x.

Ajustes

Grupo de parámetros *10 DI, RO Estandar* (página 85).

■ Ampliaciones de E/S programables

El número de entradas y salidas puede incrementarse utilizando las ampliaciones de E/S FIO-xx. Los parámetros de configuración de E/S (grupos de parámetros 10...13) incluyen el número máximo de DI, DIO, AI, AO y RO que pueden utilizarse con diferentes combinaciones de FIO-xx.

La siguiente tabla muestra las combinaciones de E/S posibles:

| Ubicación | Entradas digitales (DI) | E/S digitales (DIO) | Entradas analógicas (AI) | Salidas analógicas (AO) | Salidas de relé (RO) |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|
| Unidad de control del convertidor | 7 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| FIO-01 | - | 4 | - | - | 2 |
| FIO-11 | - | 2 | 3 | 1 | - |

Por ejemplo, con un FIO-01 y un FIO-11 conectados al convertidor, los parámetros que controlan DI1...7, DIO1...8, AI1...5, AO1...3 y RO1...5 están en uso.

Ajustes

Grupos de parámetros *10 DI, RO Estandar* (página 85), *11 DIO, Fen, Fsal Estandar* (página 91), *12 AI Estandar* (página 96) y *13 AO Estandar* (página 99).

■ Control por bus de campo

El convertidor puede conectarse a varios sistemas distintos de automatización a través de sus interfaces de bus de campo. Véase el capítulo *Control de bus de campo a través de un adaptador de bus de campo* (página 289).

Ajustes

Grupos de parámetros *50 Bus de Campo Adap. (FBA)* (página 203), *51 FBA A Ajustes* (página 207), *52 FBA A Data In* (página 209) y *53 FBA A Data Out* (página 210).

Control del motor

■ Control directo de par (DTC)

El control del motor del ACS880 se basa en el control directo de par (DTC). La conmutación de los semiconductores de salida se controla para conseguir el flujo de estátor y el par motor necesarios. La frecuencia de conmutación se cambia sólo si el par actual y los valores de flujo del estátor difieren de sus referencias más de la histéresis permitida. El valor de referencia para el regulador de par proviene del regulador de velocidad o directamente de una fuente externa de referencia de par.

El control del motor requiere la medición de la tensión de CC y de la corriente de dos fases de motor. El flujo del estátor se calcula mediante la integración de la tensión del motor en el espacio vectorial. El par del motor se calcula a partir del producto vectorial del flujo del estátor y la corriente del rotor. Al utilizar el modelo de motor identificado se mejora la estimación del flujo del estátor. La velocidad actual del eje del motor actual no es necesaria para el control del motor.

La diferencia principal entre el control tradicional y el control DTC es que el control de par tiene la misma escala temporal que el control de conmutación de potencia. No hay ningún modulador PWM separado controlado por tensión y frecuencia; la conmutación de la etapa de salida se basa plenamente en el estado electromagnético del motor.

El control de motor más preciso se consigue activando una marcha de identificación con el motor desacoplado (marcha de ID).

Véase también el apartado [Control escalar del motor](#) (página 34).

Ajustes

Parámetros [99.04 Modo Ctrl Motor](#) (página 232) y [99.13 Petición Marcha Ident](#) (página 234).

■ Rampas de referencia

Es posible ajustar individualmente los tiempos de rampa de aceleración y deceleración para la referencia de velocidad, par y frecuencia.

Con una referencia de velocidad o frecuencia, las rampas se definen como el tiempo que el convertidor tarda en acelerar o decelerar entre la frecuencia o velocidad cero y el valor definido por el parámetro [46.01 Escalado velocidad](#) o [46.02 Escalado Frecuencia](#). El usuario puede conmutar entre dos conjuntos de rampas preestablecidos con ayuda de una fuente binaria, por ejemplo, una entrada digital. En el caso de la referencia de velocidad, también es posible controlar la forma de la rampa.

En el caso de una referencia de par, las rampas se definen como el tiempo que tarda en cambiar la referencia entre cero y el par nominal del motor (parámetro [01.30 Escala Par Nominal](#)).

Rampas de aceleración/deceleración especiales

Los tiempos de aceleración/deceleración para la función de avance lento pueden definirse separadamente; véase el apartado *Avance lento* (página 31). Además, se puede definir una rampa de deceleración para el paro de emergencia (modo "Off3").

Ajustes

- Rampa de referencia de velocidad: parámetros 23.11...23.19 y 46.01 (páginas 124 y 199).
- Rampa de referencia de par: parámetros 01.30, 26.18 y 26.19 (páginas 79 y 138).
- Rampa de referencia de frecuencia: parámetros 28.71...28.75 y 46.02 (páginas 145 y 199).
- Avance lento: parámetros 23.20 y 23.21 (página 127).
- Paro de emergencia (modo "Off3"): parámetro 23.23 *Paro Emergencia Tiempo* (página 127).

■ Velocidades (frecuencias) constantes

Es posible predefinir hasta 7 velocidades constantes. Las velocidades constantes pueden activarse, por ejemplo, mediante entradas digitales. Las velocidades constantes tienen preferencia sobre la referencia de velocidad normal.

En el caso del control de frecuencia, es posible definir siete frecuencias constantes de la misma forma.

Ajustes

Grupos de parámetros 22 *Selección Referencia Veloc* (página 118) y 28 *Cadena Ref de Frecuencia* (página 141).

■ Velocidades (frecuencias) críticas

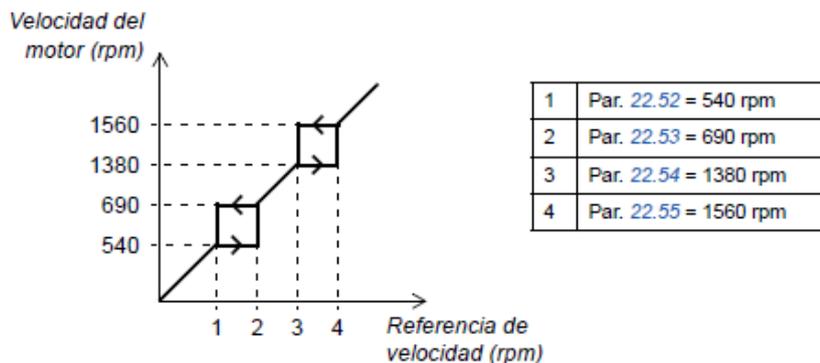
Existe una función de velocidades críticas para las aplicaciones en las que es necesario evitar determinadas velocidades del motor o intervalos de velocidad debido, por ejemplo, a problemas de resonancia mecánica.

Existe una función similar para el control de motor escalar con una referencia de frecuencia.

Ejemplo

Un ventilador tiene vibraciones en el rango de 540 a 690 rpm y de 1380 a 1560 rpm. Para hacer que el convertidor se salte estos intervalos de velocidad:

- habilite la función de velocidades críticas activando el bit 0 del parámetro [22.51 Vel Críticas Funcion](#), y
- ajuste los intervalos de velocidades críticas como en la figura siguiente.



Ajustes

Grupos de parámetros [22 Selección Referencia Veloc](#) (página 118) y [28 Cadena Ref de Frecuencia](#) (página 141).

■ Compatibilidad con encoder

El programa admite dos encoders monovuelta o multivuelta (o resolvers). Están disponibles los siguientes módulos de interfaz opcionales:

- Interfaz de encoder absoluto FEN-11: entrada del encoder absoluto, entrada TTL, salida TTL (para emulación y reflejo del encoder) y dos entradas digitales para la fijación de posición.
- Interfaz de resolver FEN-21: entrada del resolver, entrada TTL, salida TTL (para emulación y reflejo del encoder) y dos entradas digitales para la fijación de posición.
- Interfaz de encoder HTL FEN-31: entrada del encoder HTL, salida TTL (para emulación y reflejo del encoder) y dos entradas digitales para la fijación de posición.

El módulo de interfaz se instala en cualquier ranura para opciones de la unidad de control del convertidor, o bien en un adaptador de extensión FEA-xx.

Configuración rápida de la realimentación del encoder HTL

1. Especifique el tipo de módulo de interfaz de encoder (parámetro *91.11 Módulo 1 tipo = FEN-31*) y la ranura del módulo en el que está instalado el módulo (*91.12 Módulo 1 ubicación*).
2. Especifique el tipo de encoder (*92.01 Encoder 1 Tipo = HTL*). La lista de parámetros se leerá del convertidor una vez cambiado el valor.
3. Especifique el módulo de interfaz al que está conectado el encoder (*92.02 Encoder 1 Fuente = Módulo 1*).
4. Ajuste el número de impulsos conforme a la placa de características del encoder (*92.10 Pulsos / Revolucion*).
5. Si el encoder gira a una velocidad distinta de la del motor (es decir, no está montado directamente en el eje del motor), indique la relación de transmisión en *90.43 Reductor Motor Numerador* y *90.44 Reductor Motor Denomin*.
6. Ajuste el parámetro *91.10 Refresco Param Encoder* a *Configurar* con el fin de aplicar los nuevos ajustes de los parámetros. El parámetro volverá automáticamente a *Realizado*.
7. Compruebe que *91.02 Módulo 1 estado* y *92.03 Tipo act. encoder 1* indican los tipos correctos del módulo de interfaz y del encoder (*HTL* y *FEN-31*, respectivamente). Compruebe también el estado del módulo FEN-31; los dos LED deben permanecer encendidos con el color verde.
8. Arranque el motor con una referencia de, por ejemplo, 400 rpm.
9. Compare la velocidad estimada (*01.02 Velocidad Motor Estim*) con la velocidad medida (*01.04 Encoder 1 veloc. filtrada*). Si los valores son los mismos, seleccione el encoder como origen de la realimentación (*90.41 Motor Seleccion Realiment = Encoder 1*).
10. Especifique la acción que debe tomarse en caso de pérdida de la señal de realimentación (*90.45 Fallo Realiment Motor*).

Ajustes

Grupos de parámetros *90 Seleccion Realimentacion* (página 210), *91 Ajustes de módulo encoder* (página 215), *92 Encoder 1 Configuracion* (página 217) y *93 Encoder 2 Configuracion* (página 222).

■ Avance lento

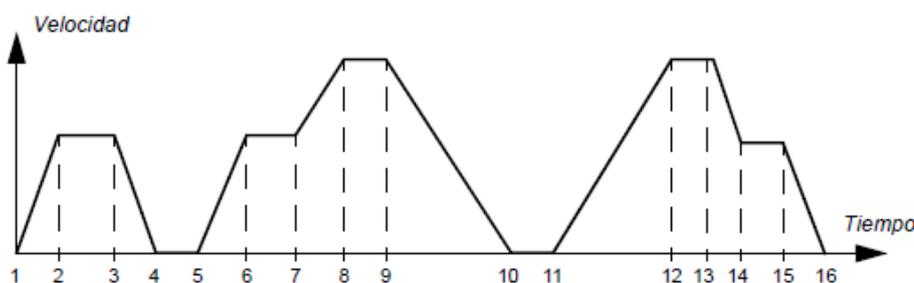
Existen dos funciones de avance lento (1 y 2). Cuando se activa una de las funciones de avance lento, el convertidor arranca y acelera hasta la velocidad de avance lento definida (parámetro *22.42 Ref. avance lento 1* o *22.43 Ref. avance lento 2*), siguiendo la rampa de aceleración establecida (*23.20 Tiempo Accl Jog*). Cuando se desactiva la función (arranque a avance lento $1/2 = 0$), el convertidor decelera hasta detenerse siguiendo la rampa de deceleración de avance lento establecida (*23.21*

Tiempo Decel jog). Puede utilizarse un pulsador para arrancar y detener el convertidor durante el avance lento. La función de avance lento se utiliza generalmente para controlar la maquinaria localmente durante el mantenimiento o la puesta en marcha.

Las funciones de avance lento 1 y 2 se activan por medio de un parámetro o a través del bus de campo. Para obtener información sobre la activación a través de bus de campo, véase el parámetro *06.01 Código Control Pcpal*.

La tabla y la figura siguientes describen el funcionamiento del convertidor durante el avance lento (recuerde que no pueden aplicarse a los comandos de avance lento transmitidos a través del bus de campo, ya que éstos no requieren ninguna señal de permiso; véase el parámetro *20.25 Avance Lento Habilitar*). También representan cómo el convertidor pasa a funcionamiento normal (= avance lento desactivado) cuando se conecta el comando de arranque del convertidor. Orden av. lento = Estado de la entrada de avance lento (*20.26 Avance Lento 1 Marcha* o *20.27 Avance Lento 2 Marcha*);

Habil av. lento = Estado del conjunto de origen por *20.25 Avance Lento Habilitar*,
Ord. marcha = Estado del comando de marcha del convertidor.



| Fase | Orden av. lento | Habil av. lento | Ord. marcha | Descripción |
|------|-----------------|-----------------|-------------|--|
| 1-2 | 1 | 1 | 0 | El convertidor acelera hasta la velocidad de avance lento a lo largo de la rampa de aceleración de la función de avance lento. |
| 2-3 | 1 | 1 | 0 | El convertidor funciona a la velocidad de avance lento. |
| 3-4 | 0 | 1 | 0 | El convertidor decelera hasta velocidad cero a lo largo de la rampa de deceleración de la función de avance lento. |
| 4-5 | 0 | 1 | 0 | El convertidor está parado. |
| 5-6 | 1 | 1 | 0 | El convertidor acelera hasta la velocidad de avance lento a lo largo de la rampa de aceleración de la función de avance lento. |
| 6-7 | 1 | 1 | 0 | El convertidor funciona a la velocidad de avance lento. |

| Fase | Orden av. lento | Habil av. lento | Ord. marcha | Descripción |
|-------|-----------------|-----------------|-------------|--|
| 7-8 | x | 0 | 1 | El permiso de avance lento no está activado; prosigue el funcionamiento normal. |
| 8-9 | x | 0 | 1 | El funcionamiento normal tiene preferencia sobre el avance lento. El convertidor sigue la referencia de velocidad. |
| 9-10 | x | 0 | 0 | El convertidor decelera hasta velocidad cero a lo largo de la rampa de deceleración seleccionada (parámetros 23.11...23.19). |
| 10-11 | x | 0 | 0 | El convertidor está parado. |
| 11-12 | x | 0 | 1 | El funcionamiento normal tiene preferencia sobre el avance lento. El convertidor acelera hasta la velocidad de referencia a lo largo de la rampa de aceleración seleccionada (parámetros 23.11...23.19). |
| 12-13 | 1 | 1 | 1 | El comando de marcha tiene preferencia sobre la señal de permiso de avance lento. |
| 13-14 | 1 | 1 | 0 | El convertidor decelera hasta la velocidad de avance lento a lo largo de la rampa de deceleración de la función de avance lento. |
| 14-15 | 1 | 1 | 0 | El convertidor funciona a la velocidad de avance lento. |
| 15-16 | x | 0 | 0 | El convertidor decelera hasta velocidad cero a lo largo de la rampa de deceleración seleccionada (parámetros 23.11...23.19). |

Notas:

- El avance lento no funciona cuando se conecta el comando de arranque del convertidor o si el convertidor está en control local.
- El tiempo de la forma de rampa se ajusta a cero durante el avance lento.

Ajustes

Parámetros *06.01 Código Control Pcpal* (página 81), *20.25 Avance Lento Habilitar* (página 112), *20.26 Avance Lento 1 Marcha* (página 112), *20.27 Avance Lento 2 Marcha* (página 113), *22.42 Ref. avance lento 1* (página 122), *22.43 Ref. avance lento 2* (página 122), *23.20 Tiempo Acel Jog* (página 127) y *23.21 Tiempo Decel jog* (página 127).

ANEXO D: PROGRAMACIÓN LADDER

